ELETRÔNICA RÁDIO E TV

SUMÁRIO

INSTITUTO UNIVERSAL BRASILEIRO

CURSO DE ELETRÔNICA BÁSICA RÁDIO-TV
17ª LIÇÃO TEÓRICA
ALTA- FIDELIDADE

Introdução

Uma das características fundamentais de um receptor de rádio é sua **fidelidade**, isto é, a capacidade de reproduzir o sinal de entrada sem introduzir deformação. No receptor, todos os estágios contribuem com sua parcela de deformação; entretanto, as mais substanciais são aquelas introduzidas pelo detetor e pelo amplificador de áudio. Nesta lição, vamos tratar da fidelidade do amplificador de áudio, principalmente quando utilizado na reprodução fonográfica e de FM que, como o aluno sabe, têm alcance de freqüência bem superior àquela proporcionada pelos receptores de rádio do tipo de AM.

I - Alta-fidelidade

Há muito tempo, o termo **alta-fidelidade** vem sendo explorado comercialmente, popularizado através da sigla Hi-Fi (lê-se: rái-fái), que nada mais é que a abreviação de "high-fidelity", cujo significado é **alta-fidelidade**. É claro que muitos aparelhos anunciados como de alta-fidelidade não o são. Para que um amplificador possa ser classificado como de alta-fidelidade, deve obedecer a uma série de requisitos, que analisaremos ainda nesta lição.

Inicialmente, vamos conceituar o que se deve entender por alta-fidelidade. Diremos **que uma reprodução é de alta-fidelidade, quando ela não possa ser distinguida do original**. Em outras palavras, isto significa que a reprodução deve ser tão perfeita que o ouvinte tenha a mesma sensação que teria se estivesse sentindo o programa "ao vivo".

A alta-fidelidade, como definida anteriormente, não é possível de ser atingida, pois tanto o equipamento como as condições ambientes impedem que uma reprodução seja absolutamente fiel. Contudo, com o desenvolvimento técnico dos sistemas de reprodução, aliados à **estereofonia, quadrifonia** e o estudo acústico da sala de audição, consegue-se reprodução bastante satisfatória e que muito se aproxima da verdadeira fidelidade.

Conquanto muitas vezes um equipamento esteja dentro dos padrões de exigência de alta-fidelidade, pode não agradar a uma faixa de ouvintes. Entra aqui o fator subjetivo, que deve ser considerado pelo técnico, na eventualidade do fornecimento de uma cadeia de Hi-Fi. O fator subjetivo depende muito da acuidade auditiva e, principalmente, da cultura musical do ouvinte.

Finalmente, levando em conta o fator subjetivo, podemos afirmar que a verdadeira fidelidade é a reprodução que proporciona maior satisfação ao ouvinte.

II - Algumas definições úteis

Daremos a seguir as definições de alguns termos bastante ligados à alta-fidelidade e que o aluno encontrará freqüentemente na literatura técnica.

a) Intensidade sonora

A intensidade sonora está ligada à pressão acústica, ou seja, à quantidade de energia sonora que atravessa uma área unitária. Ela é medida, geralmente, em watts por metros quadrados. Sabe-se que o ouvido possui uma membrana chamada tímpano, que recebe, através do canal auditivo, a pressão da onda sonora, produzindo a sensação de som forte ou fraco. A menor intensidade sonora que o ouvido normal consegue distinguir é muito pequena, correspondendo a $1 pW/m^2$ (1 picowatt por metro quadrado). Essa intensidade é chamada de **limiar da percepção**.

Por outro lado, quando a intensidade é muito forte, provoca sensação dolorosa e danos irreparáveis ao ouvido. Diz-se que a intensidade atinge o **limiar da dor**. A intensidade que provoca o limiar da dor corresponde à pressão de 1 W por metro quadrado.

Do que se expôs, segue-se que entre o limiar da percepção e o limiar da dor há uma intervalo muito grande, ou seja, de 0,000 000 000 001 W/m^2 até 1 W/m^2. Para representar esse intervalo com comodidade, usa-se a escala dos decibéis (logarítmica) que o aluno conhecerá em momento oportuno. Assim, tomando-se a intensidade de 1 pW/m^2 como referência, resulta que o limiar da percepção será de 0 dB e o da dor, de 120 dB.

Essa notação é bastante vulgarizada atualmente, quando se fala de controle da "poluição sonora".

Uma casa calma, por exemplo, tem nível sonoro de cerca de 40 dB. Uma conversação normal tem nível de 60 dB. Já uma explosão violenta atinge o nível de cerca de 110 dB.

Um fato interessante sob o ponto de vista da alta-fidelidade é que a intensidade depende da freqüência, diminuindo à medida que esta diminui. Isto quer dizer que, nas baixas freqüências, o ouvido é menos sensível, resultando daí o costume que os audiófilos têm de ouvir suas gravações preferidas em alto volume, para não perderem os sons graves.

b) Altura

A altura de um som é uma característica subjetiva, que permite distinguir os sons musicais do ruído. A altura é medida pela freqüência do som. Diz-se que os sons de freqüência elevada, isto é, os agudos são **altos** e os de freqüência baixa, os graves, são **baixos**. A altura dá uma idéia de volume ou espaço e não existe ligação física associando essa sensação com a freqüência, embora, como afir-

mamos anteriormente, ela costuma ser indicada pela freqüência.

c) Timbre

Os sons senoidais são chamados de **tons**. Desta definição pode parecer que todos os tons de mesma freqüência saiam iguais, isto é, tenham o mesmo efeito psicológico sobre o ouvido. Entretanto não é isto o que acontece. O dó (nota musical) produzido por uma flauta, por exemplo, é distinguido facilmente do dó produzido por violino ou órgão, embora a freqüência seja a mesma nos três instrumentos. O que distingue a mesma nota musical tocada, por intrumentos diferentes, é o seu **timbre.**

O timbre está ligado ao conteúdo harmônico do som, ou seja, à intensidade dos harmônicos, daí soar diferente o mesmo tom produzido em instrumentos musicais distintos.

Intensidade (volume), altura e timbre são as três características fundamentais do som; entretanto, existem outras de muita aplicação nos projetos de amplificadores de alta-fidelidade, tais como as que apresentamos em seguida e aquelas que serão citadas à medida que for necessário.

d) Brilho

O termo **brilho** ou **densidade** é usado freqüentemente para indicar o conteúdo harmônico superior do tom. Contrariamente ao que parece, brilho não é sinônimo de timbre.

e) Trêmolo ou "vibrato"

É uma variação lenta na altura ou na intensidade de um som. O trêmolo produz efeito agradável, quando a variação se dá entre 6 e 13 Hz.

f) Reverberação

São reflexões do som (ecos) devidas a obstáculos, como tetos, paredes, etc. Esse efeito também pode ser produzido artificialmente, através das chamadas "câmaras de eco". A reverberação é de importância muito grande no estudo acústico dos auditórios.

g) Batimento

É o fenômeno já conhecido do aluno e que consiste na formação de outros sons, quando dois de freqüências diferentes são misturados em um dispositivo não linear. O batimento dá origem à distorção de intermodulação, que citaremos ainda nesta lição. Um amplificador geralmente é não linear nos extremos da faixa, e o batimento de duas freqüências dessas zonas pode dar origem a outra que caia dentro da faixa audível. Por exemplo, se uma freqüência de 60 Hz bater com outra de 7 KHz, dá como resultado 7 060 Hz e 6 940 Hz, que não estavam no programa. Além disso, os harmônicos dessas freqüências também se combinam, gerando outras freqüências espúrias. É claro que, se não houver distorção de freqüência, isto é, se o amplificador for linear na faixa 60 Hz - 7 KHz, não haverá batimento. Para evitar o fenômeno do batimento, procura-se fazer a faixa de passagem bastante ampla, isto é, o amplificador linear num grande alcance de freqüências.

h) Ruído

Os ruídos são vibrações irregulares (não senoidais), que produzem sons desagradáveis ao nosso ouvido. O ruído caracteriza-se, portanto, pela falta de uma freqüência fundamental. Deve ser considerado como uma distribuição de energia em um alcance amplo de freqüências. O ruído pode alcançar níveis tais que desfiguram um programa audível. Um exemplo é o ruído atmosférico na recepção radiofônica de longa distância, que chega a "encobrir" a emissora sintonizada. Nos amplificadores de áudio, há outros tipos de ruído, como os internos, produzidos pela passagem de corrente através de resistores; ruídos produzidos pelos transistores, etc. Há, também, os ruídos externos provocados pelo atrito da agulha sobre o disco fonográfico; o ruído de fundo das fitas magnéticas, etc.

Quando se introduz ruído em quantidade suficiente, ele pode ocultar os sons de pequena intensidade e, conseqüentemente, contribuir para a perda da fidelidade.

i) Alcance de freqüências

Considera-se que o espectro de freqüências audíveis se encontra entre 16 Hz e 16 KHz, números esses que muitos autores preferem arredondar para 20 Hz e 20 KHz, embora dificilmente se encontrem pessoas que consigam ouvir até 20 KHz.

Os instrumentos musicais geram freqüências fundamentais bem abaixo dos limites citados para a faixa de freqüência; entretanto, devido à grande quantidade de harmônicos, o elemento reprodutor deve possuir uma faixa de passagem (alcance de freqüências) bem mais ampla. Para exemplificar a afirmação, basta citar que o órgão, que é o instrumento mais completo, gera fundamentais desde 16 Hz a 8 KHz; entretanto, para que a reprodução seja fiel, o alcance de freqüências do reprodutor (amplificador, no caso geral) deve estar entre os 30 Hz até 16 KHz. Para a reprodução fiel da voz do soprano, cujas freqüências fundamentais vão de 250 a 850 Hz, é necessário faixa de passagem de 180 Hz a 10 KHz.

Por estes exemplos, o aluno pode sentir a necessidade da ampla resposta de freqüência que deve ter o amplificador de alta-fidelidade.

Todas essas características acústicas, que apresentamos de forma sucinta, têm por finalidade chamar a atenção do aluno para os problemas técnicos que devem ser superados, no projeto do amplificador de alta-fidelidade.

Esses problemas devem ser resolvidos em conjunto e obedecer a uma série de especificações, para que o reprodutor possa ser considerado de alta-fidelidade. As principais especificações são indicadas em seguida.

III - Especificações sobre amplificadores de Hi-Fi

Para que um amplificador de áudio possa ser considerado como de alta-fidelidade, deve satisfazer uma série de requisitos no que tange a banda passante, distorção harmônica, sensibilidade, etc. No início da alta-fidelidade, cada construtor tinha suas especificações particulares, o que dificultava o julgamento. Para diminuir a confusão, o Instituto de Alta-Fidelidade (IHF), dos EUA, propôs especificações racionais, que são seguidas pelas mais importantes indústrias de equipamentos de som do mundo.

Essas especificações referem-se à saída dinâmica e à contínua, faixa de passagem de potência, sensibilidade, zumbido, fator de amortecimento, impedância de entrada, separação e modulação cruzada (para amplificadores estereofônicos), etc.

Nesta lição, serão analisadas somente as mais importantes e suficientes para que o aluno saiba julgar as qualidades de um amplificador de áudio, através da leitura de sua ficha técnica.

a) Saída contínua e dinâmica

Esta especificação se refere à potência que o amplificador entrega ao alto-falante (carga). Antigamente, falava-se em potência real, potência de pico, potência eficaz, etc. O IHF acabou com a confusão, especificando dois tipos de potência:

1ª) Potência contínua

A potência contínua refere-se à quantidade máxima de potência na carga, proporcionada por um sinal de 1000 Hz, dentro de um limite determinado de distorção. A escolha do limite de distorção fica a cargo do fabricante do amplificador; entretanto, ele não pode ser superior a 2% em toda a faixa, caso contrário o equipamento deixa de merecer a denominação de Hi-Fi.

No julgamento da característica de potência de um amplificador, deve-se atentar para os dois detalhes, ou seja, potência indicada e nível de distorção. Assim, um amplificador de 20 W e 1,5% de distorção pode não ser tão potente quanto outro de 15 W e 0,5% de distorção. Isto não é difícil de entender, se observarmos que a distorção depende da potência de saída e aumenta rapidamente a partir de certo limite. Assim, pode acontecer que o amplificador de 20 W, de nosso exemplo, forneça apenas 10 W com 0,5% de distorção. Desse modo, do ponto de vista de potência em função da distorção, o segundo, isto é, o de 15 W e 0,5%, é melhor, embora o primeiro forneça maior volume de som.

2ª) Potência dinâmica

Como o audiófilo ouve música e não uma onda senoidal pura, o IHF exige a indicação da potência dinâmica. Esta especificação leva em consideração que a potência do amplificador, em regime dinâmico, não é constante, ou seja, fica limitada pela capacidade que tem a fonte de alimentação de fornecer a tensão contínua constante ao estágio de saída do amplificador. Realmente, o aluno se recorda de que, no estágio de saída em classe B (que é o que mais se emprega em amplificadores de potência transistorizado), o consumo de corrente é muito baixo, nas passagens musicais suaves, e pode crescer até o valor de pico, nas passagens vigorosas (crescendos musicais). Como a tensão da fonte diminui, quando o consumo é grande, a potência fornecida também o faz. Teoricamente, para amplificador alimentado por uma fonte de corrente contínua muito bem regulada, isto é, cuja tensão seja independente da corrente drenada, a potência dinâmica coincide com a potência contínua, definida no item anterior. Caso isso não aconteça, a potência dinâmica é menor que a contínua.

b) Faixa de passagem de potência

O aluno se recorda de que o ouvido humano é capaz de perceber os sons cujas freqüências variam desde 16 Hz a 16 KHz, valores esses que muitas vezes são estendidos para 20 Hz a 20 KHz. Baseando-nos nisso, devemos supor que o amplificador de alta-fidelidade deve reproduzir os sons dentro desses limites. Entretanto, a experiência tem demonstrado que esses limites são insuficientes para um equipamento (amplificador) de alta-fidelidade. Vários fatores contribuem para isso, principalmente a possibilidade de distorção por intermodulação.

O aluno sabe que por faixa de passagem ou banda passante se entende a gama de freqüências para as quais a amplificação é linear, isto é, a resposta do amplificador em função da freqüência é uma reta. Nas freqüências-limites, a amplificação de tensão cai de 3 dB (cerca de 30%) do valor da amplificação, nas freqüências médias.

Pois bem, se a resposta não for absolutamente linear, pode acontecer que dois tons de freqüências distintas sofram batimento, com a produção de outros que não estavam no programa original, o que resulta no aparecimento de acordes ou combinações desagradáveis.

Em vista disso, é desejável que o amplificador tenha faixa passante bastante superior à dos sons audíveis. Os amplificadores com faixa de passagem de 20 Hz a 25 KHz são capazes de proporcionar reprodução de alta-fidelidade. Os amplificadores de categoria têm banda passante bem ampla, indo desde 10 Hz até 100 KHz ou mais.

A banda passante depende da potência que o amplificador está fornecendo. À medida que a potência aumenta, a banda passante diminui e a distorção, como sabemos aumenta. Portanto, para especificar a faixa de passagem de um amplificador, é necessário indicar a potência e a distorção.

Para o IHF, **a banda passante de potência** é definida como o intervalo de freqüências em cujos extremos - freqüência inferior e freqüência superior - o amplificador produz metade de sua potência nominal, com a distorção nominal.

Esta definição equivale àquela de **banda passante de tensão**, que o aluno já conhece, por isso, muitas folhas de especificação costumam reproduzir as curvas de amplitude relativa em função da potência e da freqüência, como aquelas que reproduzimos na **figura 1.**

Essas curvas foram copiadas das especificações de um amplificador comercial. Como o aluno pode perceber a banda passante é linear, de 15 Hz a 25 KHz para a potência de 1 W, de 18 Hz a 20 KHz para a potência de 5 W e de 25 Hz a 15 KHz
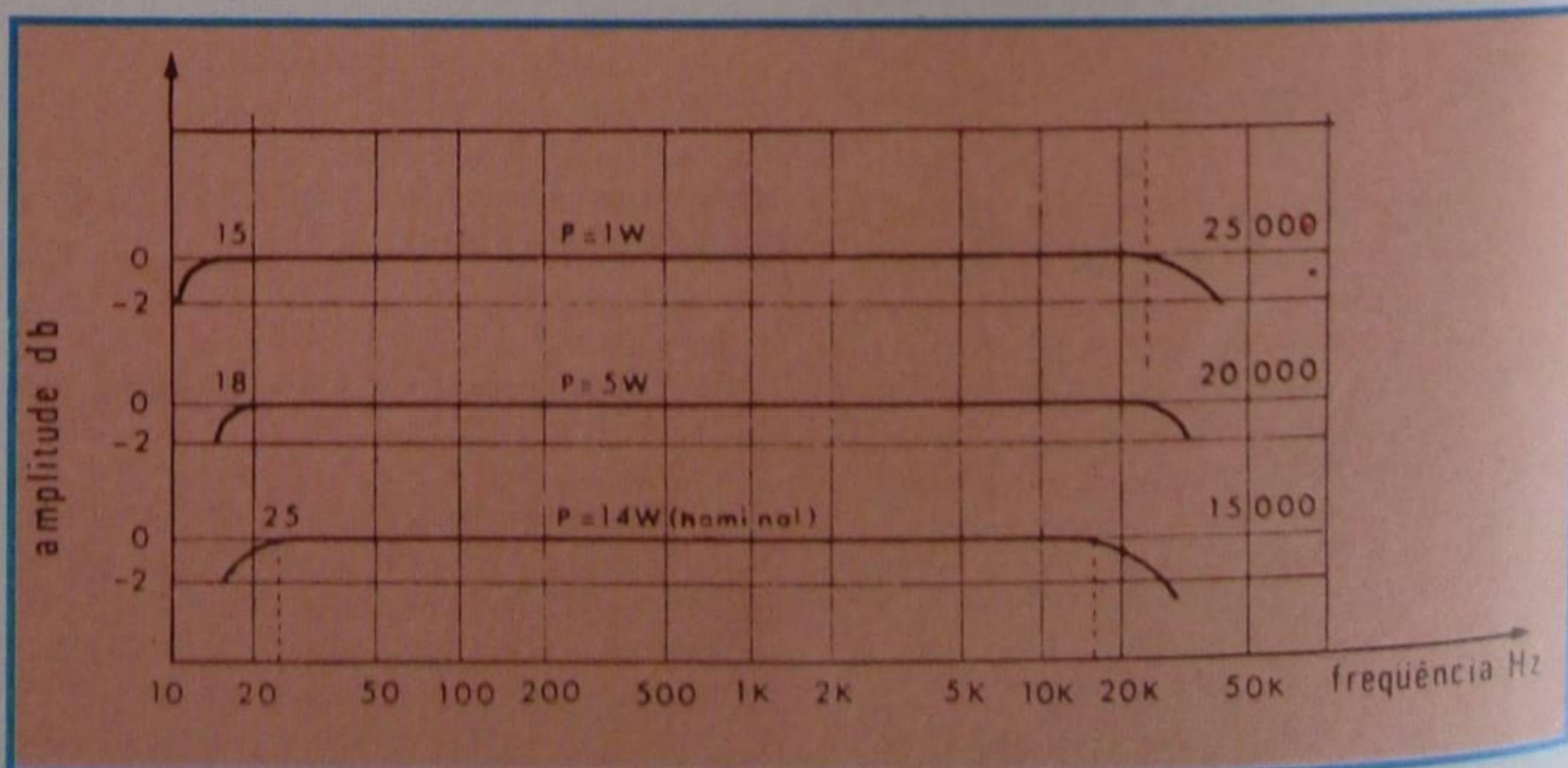
Figura 1 - Curvas de amplitude relativa em função da potência e freqüência.

para a potência nominal de 14 W.

A banda passante de potência para o amplificador do exemplo seria obtida prolongando-se os extremos da curva correspondente a 14 W até a marca dos -3dB (não indicados no gráfico). Todavia, ela somente teria significado se fosse indicada a distorção nominal. No amplificador em pauta, essa distorção é de cerca de 2,5%, mostrada sob a forma de curvas (não reproduzidas aqui). Com distorção menor que 1%, a banda passante de potência seria de 20 Hz a 10 KHz, para potência nominal de 10 W.

Acreditamos que este exemplo sirva para o aluno perceber como a falta de padronização das especificações pode levar a conclusões não muito verdadeiras sobre a qualidade do amplificador.

De fato, o fabricante do aparelho indica em seu prospecto potência de 14 W r.m.s. (eficazes), banda passante de 25 Hz a 15 KHz e distorção inferior a 1%, e, segundo as especificações do IHF, para distorção menor do que 1% a banda passante é de 20 Hz a 10 KHz com potência de 10 W.

c) Sensibilidade

A sensibilidade de um amplificador é o modo de indicar qual o sinal necessário para produzir a máxima potência de saída. Essa especificação é interessante para que se possa casar o amplificador com a fonte de programa adequada. Via de regra, trata-se de "casar" o amplificador com o pré-amplificador, uma vez que as fontes de programa (sintonizador de FM ou AM, toca-discos, microfone, gravador, etc.) são aplicadas a este último.

Suponhamos que um determinado amplificador necessite de 0,5 V para produzir a potência máxima. Se nele introduzirmos sinal de apenas 0,25 V, ou seja, metade do necessário, será liberado somente 1/4 da potência máxima, o que não é nenhuma vantagem. Por outro lado, se a tensão aplicada for de 1 V, portanto o dobro daquela de que o amplificador necessita, para liberar a máxima potência, ele trabalhará saturado, atingindo índices incompatíveis de distorção.

A sensibilidade é sempre indicada em unidades de tensão: milivolt ou volt.

d) Zumbido e ruído

Quando o amplificador é alimentado através da rede de distribuição de 60 Hz, o que normalmente acontece em se tratando de amplificador de potência média ou alta, sempre haverá uma pequena parcela de **zumbido de 60 Hz**, e dos múltiplos dessa freqüência. Esse zumbido deverá ser minimizado através de filtragem adequada da fonte e também de realimentação, como citamos em lição anterior.

Além do zumbido, os transistores apresentam uma pequena parcela de **ruído interno**, acrescido daqueles provocados pela passagem de corrente nos resistores e que são amplificados. Esses ruídos e zumbidos perturbarão o programa, se tiverem valores significativos, isto é, se representarem uma parcela grande da potência de saída.

A especificação da quantidade de zumbido e de ruído é feita através da **relação sinal/ruído** e **sinal/zumbido** sendo indicada em decibéis. Segundo a padronização do IHF, a indicação corresponde ao número de decibéis abaixo da saída especificada. **Assim, quanto maior o número de decibéis, menor é a quantidade de ruído; conseqüentemente, melhor é o amplificador sob esse aspecto.**

e) Distorção harmônica

A distorção harmônica ocorre quando o amplificador **altera** a forma do **sinal de entrada**. Como vimos no começo desta lição, o timbre do instrumento musical depende da presença de harmônicos. Se há introdução ou eliminação de harmônicos, a reprodução deixa de ser fiel.

Portanto, a distorção harmônica deve ser a mais baixa possível. Essa distorção é indicada em **porcentagem**. A distorção harmônica depende da freqüência e da potência de saída; por isso, é comum se efetuarem medidas da distorção ao longo de toda a banda passante e para várias potências de saída. Essas medidas costumeiramente são postas sob a forma de curvas, como aquelas que mostramos na **figura 2.** Aqui, mostramos a curva da distorção em função da freqüência para 2 níveis de potência, isto é, para 6 e 12 W de um amplificador hipotético. Como o aluno nota, para a potência de 6 W, a distorção é menor que 1% entre 80 Hz e 10 KHz. Com potência de 12 W - que é a máxima para o amplificador do exemplo -, a distorção harmônica aumenta bastante. Assim, para 80 Hz é de 1,4% e para 10 KHz, é 2,1%. Na **figura 3**, mostramos a porcentagem da distorção harmônica para 3 freqüências fixas (100 Hz, 1 KHz e 10 KHz) para diversos níveis de potência. Como o aluno pode observar, a partir de 10 W a distorção sobe acentuadamente.

Figura 2 - Curva representativa da distorção harmônica de um amplificador para duas potências de saída.

Quando a distorção é indicada somente como sendo a porcentagem na potência nominal, admite-se que seja a maior distorção dentro da banda de freqüências do amplificador, o que acontecerá nos extremos da faixa, notadamente no extremo superior.

Um amplificador de alta-fidelidade deve ter distorção harmônica igual ou inferior a 1% em toda a faixa de freqüências. Amplificadores bem elaborados apresentam distorção, que pode chegar a ser imperceptível, mesmo quando medida por instrumento de boa sensibilidade.

f) Distorção de intermodulação

Quando dois tons diferentes são aplicados a um circuito perfeitamente linear, na saída serão recolhidos apenas esses dois tons. Entretanto, se o circuito não for linear, acontecerá o fenômeno do batimento, que apresentamos linhas atrás, dando origem a sons que não fazem parte do programa original. Têm-se, na saída, as freqüências soma e diferença das duas fundamentais, bem como as combinações das freqüências soma e diferença dos harmônicos. Como esses tons espúrios foram provocados pela modulação dos dois tons fundamentais, dá-se o nome de **distorção de intermodulação** ao fenômeno.

A distorção de intermodulação também é indicada em porcentagem. Obviamente, quanto menor for a porcentagem de distorção de intermodulação, melhor é a qualidade do amplificador. Via de regra, o amplificador que apresenta baixa distorção harmônica também tem baixa distorção de intermodulação. Geralmente, as duas freqüências usadas para a medida da distorção de intermodulação são a de 60 Hz e 7 KHz.

Para minimizar a distorção de intermodulação, a faixa de passagem do amplificador deve ser bem ampla, daí a razão de se projetar amplificadores lineares desde 10 Hz até cerca de 100 KHz, não obstante o som audível esteja na faixa dos 16 Hz a 16 KHz. É que o amplificador, sendo linear em ampla faixa, evita que os batimentos e os seus harmônicos caiam dentro da faixa audível.

Além dessas especificações, é comum a apresentação de outras tais como:

- tensão de alimentação;
- consumo de corrente com e sem sinal;
- impedância de entrada;
- impedância de saída;
- especificações mecânicas, como peso e dimensões.

À guisa de ilustração, apresentamos em seguida as especificações indicadas por um fabricante nacional de "kit", para montagem de amplificadores:

Tensão de alimentação	20 V
Impedância de carga	3,2 Ω
Potência máxima (d = 10%)	12 W
Potência nominal	10W
Distorção à potência nominal	1,8%
Consumo sem sinal	20 mA
Consumo máximo(com sinal)	900 mA
Sensibilidade	250 mV
Impedância de entrada	100 KΩ
Faixa de passagem	40 Hz - 24 KHz
Relação sinal/ruído	66 dB

Figura 3 - Distorção harmônica de um amplificador para três freqüências distintas.

Como se observa através dessas indicações, o amplificador é de boa qualidade, mas não pode ser considerado de alta-fidelidade na potência nominal, pois a distorção é grande. A distorção por intermodulação e a relação sinal/zumbido não foram indicadas, bem como as especificações mecânicas que, no caso, não teriam sentido já que a caixa do amplificador deve ser providenciada pelo montador.

Observações:

1ª) Como o aluno pode concluir do que estudou até aqui, a técnica da alta-fidelidade não se constitui em nenhum novo princípio da eletrônica, mas simplesmente numa melhor elaboração dos projetos e maior desenvolvimento de componentes, visando sempre alargar a banda passante e diminuir as distorções.

Diga-se de passagem que muitos contribuíram para o desenvolvimento da Hi-Fi, a melhoria da qualidade técnica das gravações fonográficas e a recepção pelo sistema de freqüência modulada.

2ª) Para que uma reprodução seja de alta-fidelidade, o programa também deverá sê-lo. Isto quer dizer que um disco antigo, por exemplo, será reproduzido com todas as suas deficiências e chiados, mesmo tocado por um sistema reprodutor de alta-fidelidade. Do mesmo modo, o sinal de áudio retirado de um receptor de AM é reproduzido pela cadeia de alta-fidelidade dentro das limitações de freqüência características do sistema de transmissão.

3ª) Até aqui temos citado exclusivamente o amplificador de potência; entretanto, uma cadeia de áudio é formada também pelo pré-amplificador, transdutor de reprodução (alto-falante e caixa acústica) e transdutor de leitura (fonocaptador ou cabeça magnética associados ao mecanismo de movimento do prato ou da fita). Cada uma dessas partes contribui para a perfeição da reprodução. Nenhuma cadeia de Hi-Fi é melhor que seu elo mais fraco. Diga-se de passagem que as maiores deficiências de uma cadeia de alta-fidelidade estão nos seus extremos, isto é, no transdutor de reprodução e no de leitura. Já tivemos oportunidade de analisar esses transdutores e mostrar as dificuldades enormes que devem ser vencidas, para que se consiga alta qualidade. Isto quase sempre redunda em custo elevado, o que faz com que uma boa cadeia de alta-fidelidade seja privilégio de poucos.

4ª) Na lição prática, apresentaremos alguns circuitos de amplificadores de potência de alta-fidelidade. Na lição seguinte, trataremos dos pré-amplificadores.

CURSO DE ELETRÔNICA BÁSICA RÁDIO-TV

17ª LIÇÃO PRÁTICA

AMPLIFICADOR DE POTÊNCIA DE ALTA-FIDELIDADE

I - Introdução

Conforme salientamos na lição teórica, a amplificação de alta-fidelidade não é nenhum princípio novo da técnica eletrônica, mas, simplesmente, um aprimoramento do estágio amplificador clássico, com a finalidade de diminuir suas deficiências. Diga-se de passagem que os técnicos de algumas décadas atrás poderiam projetar e construir amplificadores tão fiéis como os atuais; entretanto, não havia interesse nisso, uma vez que as fontes de programa (discos e recepção em AM) não requeriam maior tratamento acústico. Em 1945, com o aparecimento do gravador de fita e com o progresso verificado na técnica e no material para gravação de discos, houve necessidade de maiores cuidados nos projetos de amplificadores de áudio.

Surgiram então os amplificadores de alta-fidelidade, de evolução crescente, atingindo quase a perfeição nos dias atuais.

II - Circuitos práticos

A seguir, apresentaremos ao aluno alguns circuitos práticos de amplificadores de alta-fidelidade transistorizados. A montagem caseira de qualquer amplificador de alta-fidelidade, seja em ponte de terminais ou placa de circuito impresso, é perfeitamente possível; entretanto, requer do montador alguma prática na distribuição dos componentes, para evitar oscilações e zumbidos. Dentre as principais precauções, as mais importantes são:

1ª) Distribuir os componentes de modo que aqueles sujeitos à induções, tais como os transistores de entrada, que funcionam com alta impedância e baixo nível de sinal, fiquem bem distanciados das fontes perturbadoras, como transformadores de força, de saída, condutores por onde circula corrente alternada, etc.

2ª) Evitar a possibilidade de acoplamentos em fase entre entrada e saída de estágios, pois, se isso acontecer, o aluno sabe que será provocada a realimentação positiva, originando oscilação. Para evitar esse inconveniente, é necessário o estudo consciencioso da distribuição dos componentes, como indicamos no item anterior, e também um estudo criterioso da fiação, para evitar que condutores de entrada e de saída de sinal se situem próximos e paralelamente.

3ª) Todas as soldas devem ser efetuadas com perfeição. Uma soldadura malfeita será inquestionavelmente uma fonte de perturbação.

4ª) Evidentemente quando se trata de montagem em circuito impresso, todos os cuidados que citamos devem ser tomados a partir da elaboração do circuito, pois, depois de pronto, não será possível modificá-lo. A soldadura em circuitos impressos deve ser bem-feita, rápida e com solda "macia", pois o aquecimento excessivo
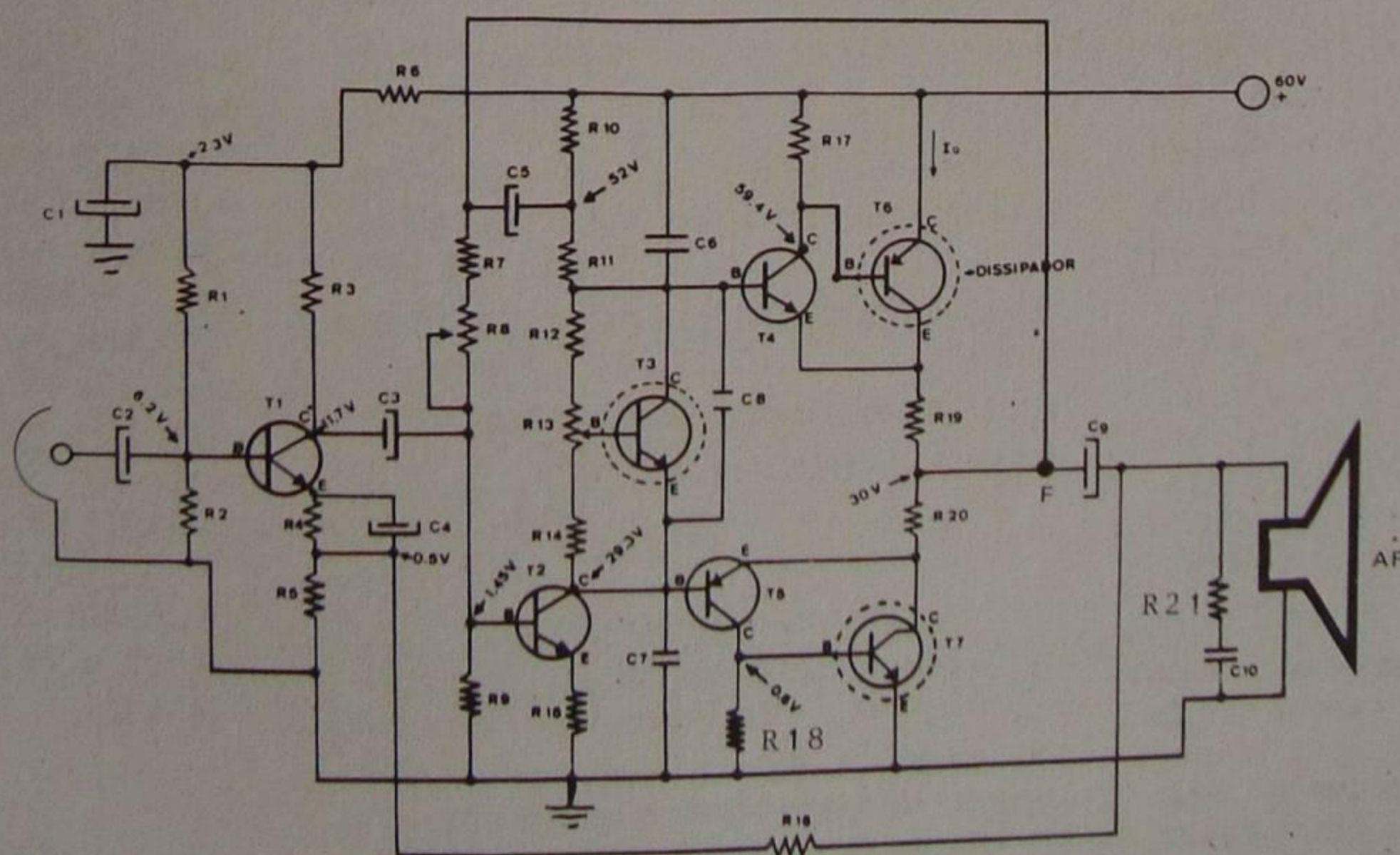
Figura 4 - Circuito de um amplificador de potência.

provoca o descolamento do filete de cobre da chapa isolante, danificando o circuito.

Amplificadores transistorizados

Quando se pretende projetar ou mesmo adquirir um amplificador de alta-fidelidade, pensa-se em circuitos transistorizados, dadas as extraordinárias vantagens e opções de potência que os transistores oferecem.

De fato, o número de transistores existentes atualmente é incalculável e aumenta diariamente. Suas características são as mais variadas possível, o que obriga o projetista a dimensionamentos particulares que dificilmente englobam um grupo de transistores, já que a equivalência de transistores não é tão rígida.

Além disso, as diversas possibilidades de polarização e de estabilização, a eliminação do transformador de saída pelo emprego de pares complementares de transistores, etc., conduzem a projetos engenhosos, altamente sofisticados, e de notáveis características técnicas.

Em razão disso, os circuitos que apresentaremos a seguir têm apenas caráter informativo, o que equivale a dizer que se o aluno se dispuser a montar qualquer um deles deverá, antes de mais nada, certificar-se da possibilidade de obtenção dos componentes propostos.

Na **figura 4**, apresentamos um circuito transistorizado, bastante simples, em classe AB, que possibilita amplificação de ótima qualidade, e com uma excelente fidelidade nos extremos da faixa de freqüência.

O transistor T_1 é o pré-amplificador; T_2 constitui um amplificador de tensão; o transistor T_3 é responsável pela polarização e estabilização térmica. Os transistores T_4 e T_5 são os excitadores enquanto que os transistores T_6 e T_7 compõem a saída.

A estabilização do ponto de funcionamento contra as variações de temperatura é conseguida pela realimentação negativa de corrente contínua entre a saída e o resistor R_7. A rede formada pelo resistor R_{16} proporciona realimentação negativa de CA e também de CC, melhorando ainda mais a estabilidade.

Este amplificador pode ser montado numa plaqueta de 115x62 milímetros, tendo seus transistores de saída (T_6/T_7) e o protetor térmico (T_3) alojados à parte, no dissipador de calor. Os transistores de saída são do tipo PAR COMPLEMENTAR que nos
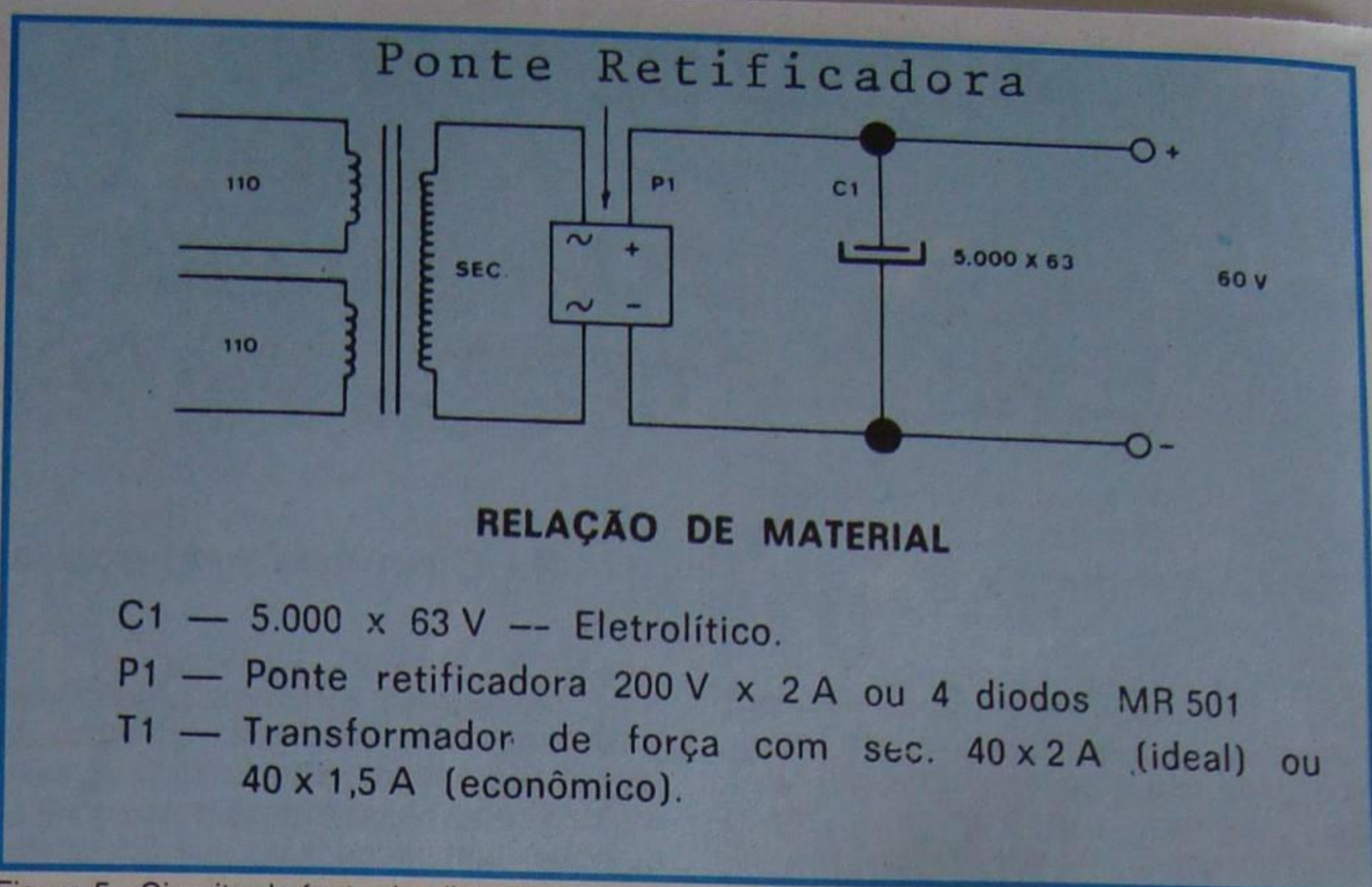
Figura 5 - Circuito da fonte de alimentação para o amplificador da figura 4.

assegura uma perfeita simetria e a alimentação é feita por fonte simples tendo um +B da ordem dos 60 Volts contínuos.

A seguir, mostramos o quadro das principais características técnicas do módulo de áudio.

Características

potência nominal .... 40 Watts RMS
potência musical .... 56 Watts
potência pico .... 80 Watts
tensão de alimentação.............. 55 a 65 V
corrente de repouso .... 40 mA
corrente de pico .... 1,5 A
sensibilidade .... 1 Volt RMS
relação sinal/ruído .... maior que 80 dB
impedância de entrada .... 40 K Ohms
impedância de saída .... 8 Ohms
distorção harmônica em máxima potência 0,15%
distorção harmônica em máxima potência (10KHz).. 0,1%
distorção harmônica a meia potência..0,04%
resposta de freqüência (1 dB) ....20 a 100 KHz

Aqui, devemos lembrar que todos os resistores são de carvão (exceção: R_{19}/R_{20} e R_{21}) de 1/4 de Watt. Se optar por resistores de 1/2 Watt, haverá uma redução de ruído térmico acima dos 40% em relação aos resistores de 1/4 de Watt. A relação sinal/ruído será melhorada em torno dos 10%.

A **figura 5** mostra o diagrama esquemático da fonte de alimentação. A retificação é feita por sistema em ponte e pode ser feita através de uma ponte retificadora ou por 4 diodos 1N4007 dispostos em configuração ponte. A filtragem é feita por um capacitor eletrolítico de 5000 x 63 Volts, porém nada impede que seja utilizado um capacitor eletrolítico com valor de capacitância próximo ou superior ao sugerido, desde que o valor da tensão de trabalho seja igual ou superior ao recomendado.

MONTAGEM

Esta não apresenta maiores problemas, visto que o amplificador é extremamente fácil de se montar. A elaboração da placa de circuito impresso assim como a sua confecção pode ser feita pelo próprio aluno. Para tanto, no primeiro passo a passo foi visto, de maneira detalhada, o procedimento de confecção e montagem de placa de circuito impresso. A **figura 6** mostra o desenho da plaqueta impressa, sugerida por nós.

A **figura 7** mostra os transistores montados T_3, T_6 e T_7, respectivamente montados no dissipador. Ao lado, em vista explodida, o procedimento para isolar os transistores T_7 e T_6 do dissipador. Muito cuidado neste tópico.

Recomenda-se após a montagem um cuidado todo especial na revisão deixando os trimpots R_8 e R_{13} na posição mediana.

AJUSTES

Após cuidadosa revisão, aterre a entrada e intercale a fonte no amplificador. No terminal positivo intercale também um miliamperímetro de 0-100 mA. Ajuste o trimpot

R_{13} para uma corrente de 40mA. Feito isso, com um voltímetro CC no ponto **F**, indicado na **figura 8**, ajusta-se o trimpot R_8 para que o ponto F tenha aproximadamente 30 Volts. Se a sua fonte tiver uma voltagem inferior, o ponto F apresentará sempre metade da tensão da fonte. Feito isso, repita por mais uma vez a operação de ajuste do **TRIMPOT R_{13}** e **TRIMPOT R_8**. Recomenda-se lacrar com esmalte os cursores dos trimpots para que eles não venham desregular-se acidentalmente. Desligue o miliamperímetro e ligue o fio positivo na fonte. Intercale na saída um sistema de alto-falantes capaz de suportar uma potência de 50 watts RMS.

A relação de materiais deste amplificador é mostrada a seguir.

Materiais do amplificador

R1 - 330 KΩ
R2 - 150 KΩ
R3 - 10 KΩ
R4 - 4,7 KΩ
R5 - 470 Ω
R6 - 33 KΩ
R7 - 22 KΩ
R8 - 47 K tipo pre set.
R9 - 2,7 K
R10 - 680 Ω
R11 - 1,8 KΩ
R12 - 100 Ω
R13 - 100 Ω tipo pre set.
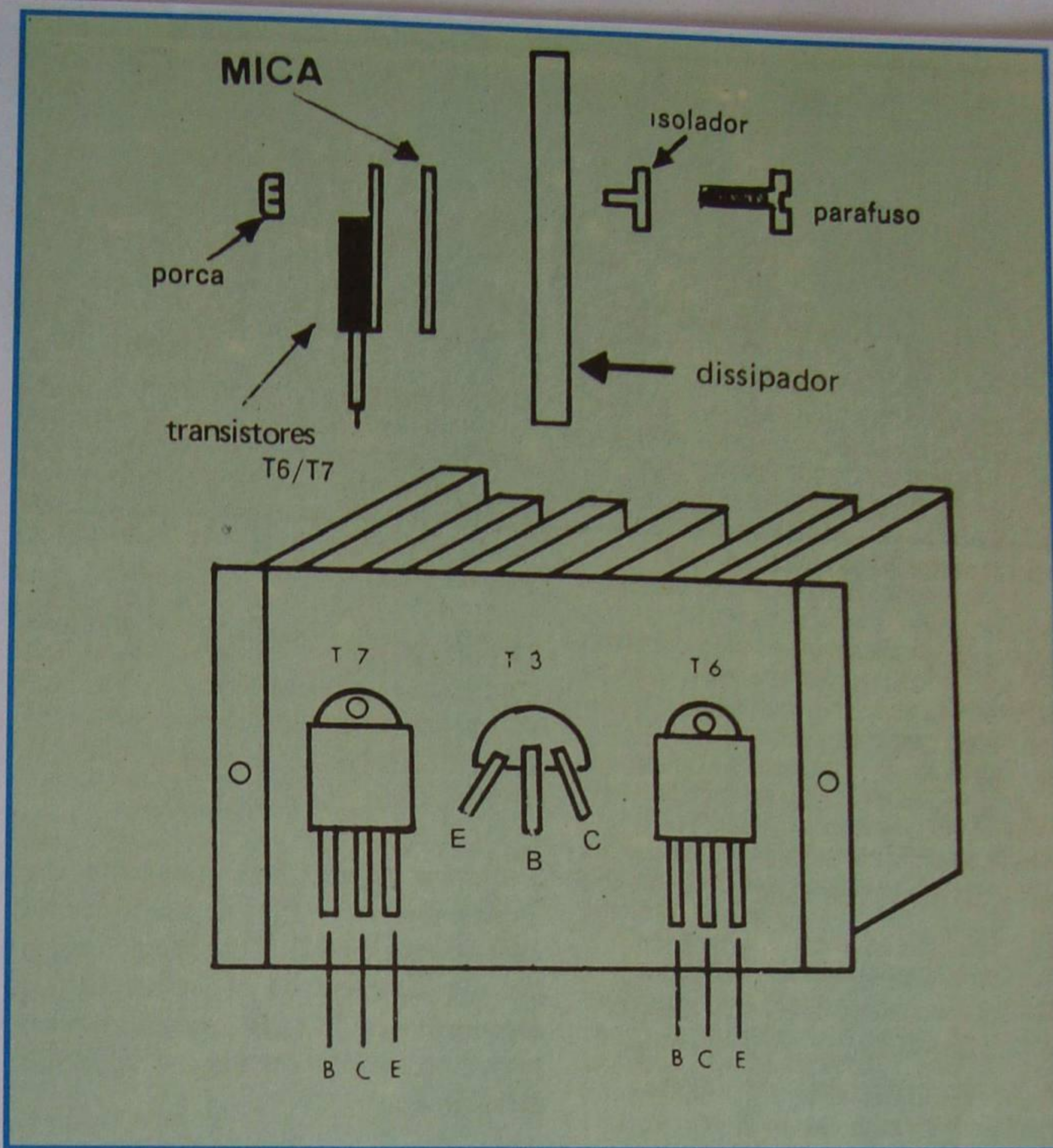
Figura 7 - Montagem dos transistores no "radiador".
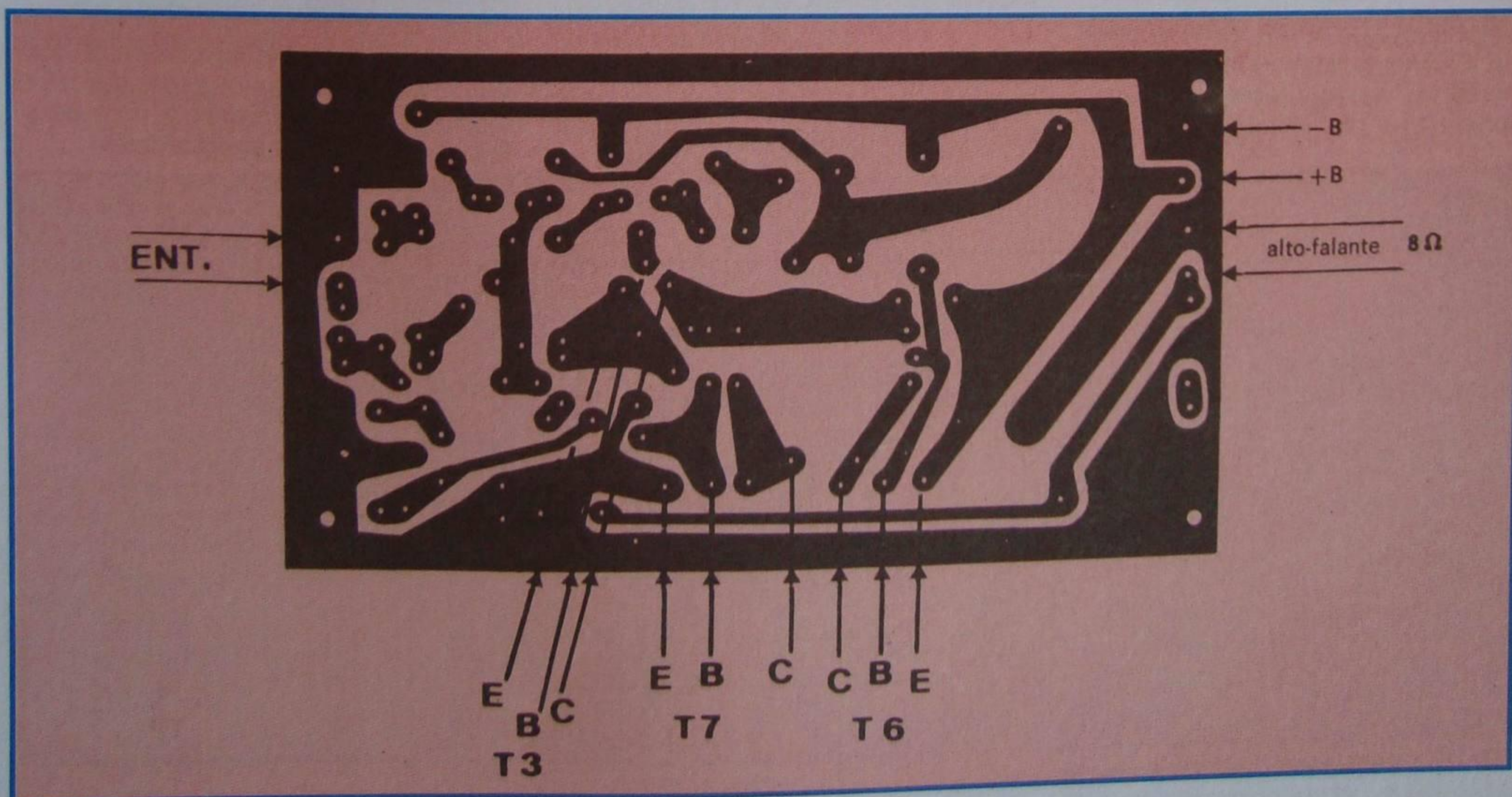
Figura 6 - Sugestão de lay-out da placa de circuito impresso.
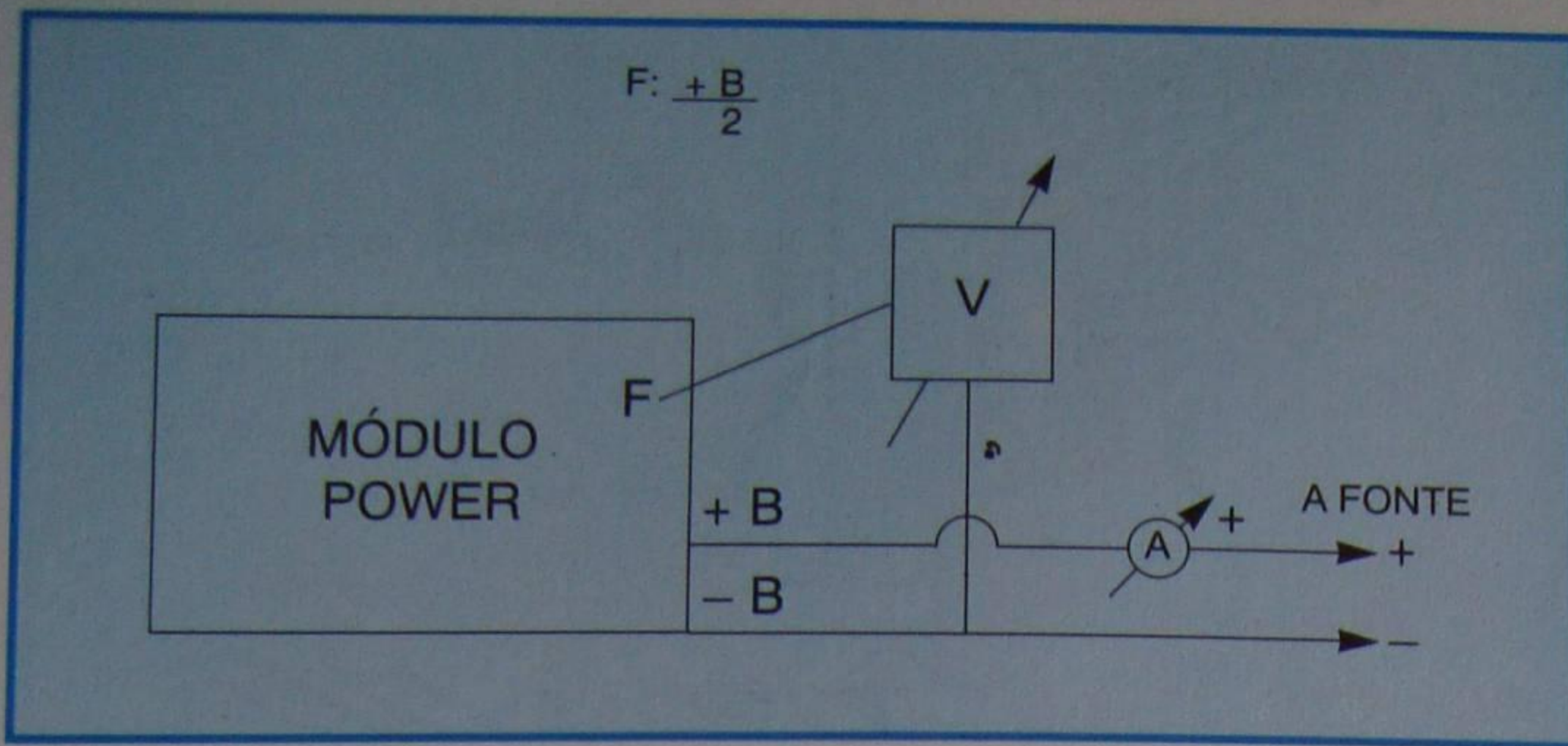
Figura 8 - Interligação para ajustes.

R14 - 120 Ω
R15 - 68 Ω
R16 - 6,8 KΩ
R17 - 68 Ω
R18 - 68 Ω
R19 - 0,33 ohms, 3 W fio
R20 - 0,33 ohms, 3 W fio
R21 - 1,2 KΩ
C1 - Capacitor eletrolítico - 47µF/63 V
C2 - Capacitor eletrolítico - 10µF/35 V
C3 - Capacitor eletrolítico - 22µF/35 V
C4 - Capacitor eletrolítico - 47µF/35 V
C5 - Capacitor eletrolítico - 47µF/63 V
C6 - Capacitor cerâmico - 270 pF
C7 - Capacitor cerâmico - 270 pF
C8 - Capacitor cerâmico - 470 pF
C9 - Capacitor eletrolítico - 2.200µF/35V
C10 - Capacitor cerâmico - 68 nF
T1 - BC 548 - ou equivalente
T2 - BC 168 - ou equivalente
T3 - BC 168 C - ou equivalente
T4 - BD 139 - ou equivalente
T5 - BD 138 - ou equivalente
T6 - TIP 34 A - ou equivalente
T7 - TIP 33 A - ou equivalente
AF - Alto-falante de 8 Ω - 50 W

Na **figura 9** é mostrado um amplificador que, devido ao seu excelente desempenho, pode ser considerado como de alta-fidelidade. O circuito integrado empregado é o TDA 2020, que apresenta, na configuração mostrada, as seguintes características:

Sensibilidade: 360 mV RMS
(f = 1 KHz)

Impedância de entrada: 100 kohms
(f = 1 KHz)

Resposta em freqüência: 20 Hz a 60 KHz, - 3 dB (11,4 V RMS na saída, sobre 8 ohms resistivos, à f = 1 KHz)

Carga a usar na saída: Alto-falante - 8 ou 4 ohms de impedância, potência maior que 20 W RMS

Potência de saída: 16,5 W RMS, com carga de 8 ohms.
(por canal) 20,0 W RMS, com carga de 4 ohms.

Alimentação: operação normal - ± 18 VCC (simétrica)
máxima absoluta - ± 22 VCC (simétrica)

Consumo máximo: 2,4 A, à máxima potência, f = 20 Hz.

Estes dois circuitos que escolhemos para ilustrar a amplificação de potência de alta-fidelidade, apresentam-se, na realidade, de configuração simples, contrariando nossa afirmação inicial de que os amplificadores transistorizados de Hi-Fi são sofisticados. Acontece, entretanto, que a sofisticação está, quase sempre, nos arranjos para se conseguir perfeita estabilização, nos circuitos de proteção dos transistores de saída contra curto-circuitos acidentais dos terminais da carga e na fonte de alimentação, via de regra, estabilizada, precauções essas que não foram tomadas nos circuitos expostos. Porém retornaremos ao assunto, sempre que se fizer necessário, visto que a maioria dos amplificadores de áudio de alta-fidelidade operam em estereofonia, assunto que será tratado em aula futura.

Na próxima lição, trataremos dos pré-amplificadores para Hi-Fi, que são os circuitos que fornecem os sinais para a excitação dos amplificadores.
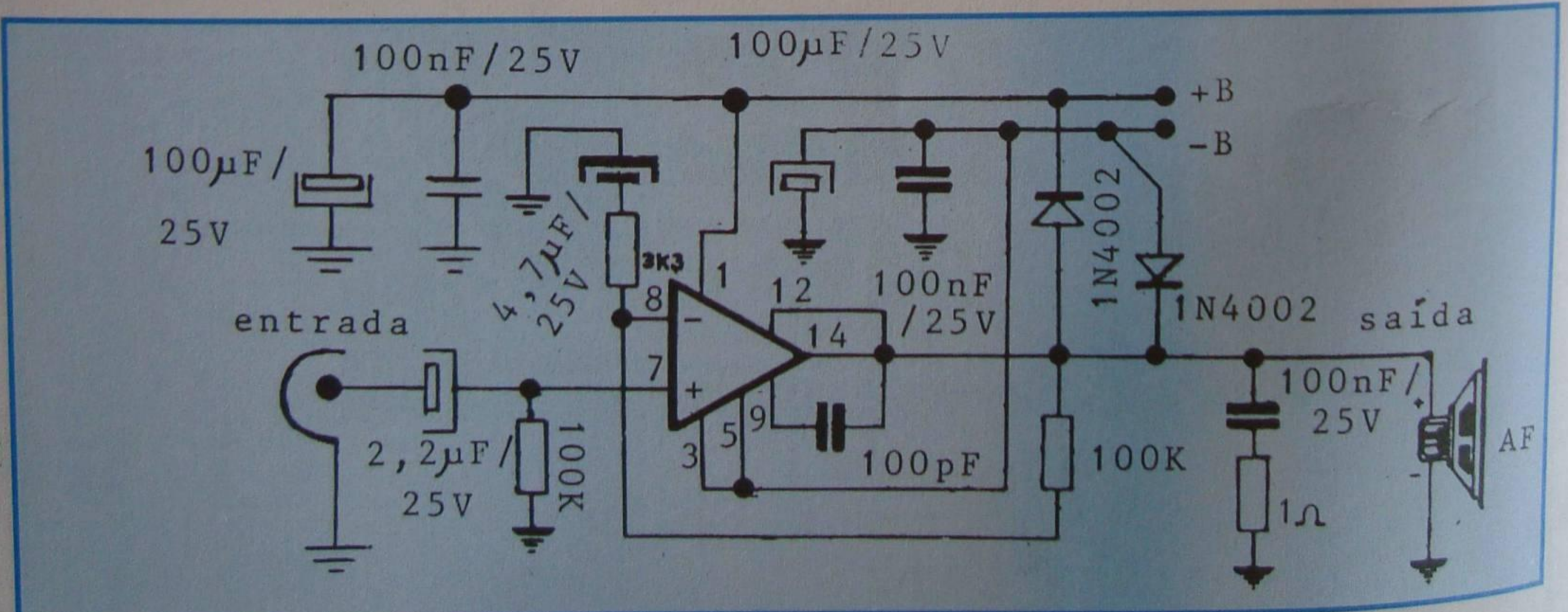
Figura 9 - Circuito de um amplificador com circuito integrado.

CURSO DE ELETRÔNICA BÁSICA RÁDIO-TV
17ª LIÇÃO ESPECIAL
INSTRUMENTOS DE LABORATÓRIO

I - Conversor A/D

Primeiramente, temos que entender o que vem a ser a conversão A/D. Para isto, partimos da seguinte indagação: o que quer dizer "conversão A/D"?

Ora, é sabido por todos nós que, em eletrônica, existem inúmeros circuitos que operam de maneira analógica, ou seja, envolvem, em suas operações normais, diversos sinais de diferentes formas-de-onda. Como exemplo disto temos o rádio, o televisor, amplificadores, etc.

Tais aparelhos, por trabalharem com sinais de formas-de-onda complexas, devem ser possíveis de operar linearmente dentro de uma certa faixa de tensão.

Por sua vez, existem também outros tipos de circuitos, os quais são chamados de digitais. O funcionamento destes circuitos baseia-se na lógica digital, a qual, por sua vez, é fundamentada na dualidade de estado elétrico de um determinado dispositivo: ligado ou desligado há ~~ou não~~ há tensão.

Exemplificando, temos em nossa casa ao menos um circuito caracteristicamente digital: a lâmpada; sim, a mesma ou está apagada ou acesa, pois, ao acionarmos o interruptor, deixamos ou impedimos que a corrente elétrica circule por ela.

Concluímos que os circuitos que fazem uso da lógica digital não trabalham com formas-de-onda complexas e nem com valores de tensão intermediários, a uma determinada faixa. São, portanto, não-lineares às tensões compreendidas nesta faixa, pois trabalham apenas com os extremos desta, sendo, portanto, bem diferente dos circuitos analógicos.

Esta diferença torna difícil que comparemos grandezas analógicas com digitais. Daí a necessidade de converter-se tais grandezas.

Os circuitos destinados a fazer tais tipos de conversão são denominados "conversores A/D". Falamos no plural pois há inúmeros meios de efetuar-se tal conversão, e outros meios certamente serão elaborados.

É fácil concluir-se que, por haver vários tipos de conversores A/D, cada qual possui seu princípio de funcionamento, o que dificulta uma padronização na explanação do tema. Mas, para que o aluno tenha uma idéia inicial, citamos que o sistema bargraph de "medição de volume" (este sistema consiste no deslocamento de luzes normalmente LEDs, de forma seqüencial) é, basicamente, um conversor A/D rudimentar, pois manipula sinais analógicos de áudio, de maneira a obter-se uma indicação digital de seus níveis de tensão, por intermédio de LEDs.

Porém, de imediato este exemplo, apesar de precário, basta para entendermos a função básica de um conversor A/D, a qual consiste em recolher um sinal analógico, maquiná-lo e convertê-lo em informação digital, e fornecê-la de uma maneira que possamos manipulá-la, visualizá-la e compreendê-la.

Tais conversores, como é fácil imaginar, possuem algumas configurações complexas, desenvolvidas de maneira a apresentar grande precisão e estabilidade, motivo pelo qual optou-se no desenvolvimento de circuitos integrados de funções específicas para a finalidade em questão: alguns poucos circuitos integrados chegam a possuir, internamente, quase a circuitagem completa necessária para a confecção de um conversor A/D.

Destes circuitos integrados destacamos o possuidor do código CA3162E, o qual, pode-se dizer, é um conversor A/D completo, pois permite que sinais analógicos seja convertidos em uma informaçnao, a qual é fornecida pelo componente em BCD.

Devemos mencionar neste instante que o código BCD representa um sistema de codificação próprio da lógica digital, e que, por fugir a finalidade do curso, não será abrangido em detalhes. Apenas a título de curiosidade, citamos que tal sinal é similar à onda retangular, onde cada pico e vale possui um significado em relação à sua posição.

Fabricado pela RCA, o CA3162E é um conversor análogo-paradigital, projetado especialmente para ser empregado em sistemas de leitura digitais de baixo custo, constituindo, portanto, um dispositivo empregado para apresentar informações ao seu operador, seja em tempo real, seja com saída de um meio de armazenamento.

O CA3162E, quando em conjunto com o complementar CA3161E, decodificador-excitador BCD para "sete-segmentos", pode ser empregado para implementar um sistema de leitura de 3 dígitos, o qual possuirá, como características, a simplicidade de operação e o mínimo de componentes externos.

O CA3162E provê conversões altamente precisas, com uma estabilidade térmica excepcional; além disso, alia outras características que o tornam particularmente um componente de grande flexibilidade e versatilidade para uso em inúmeras aplicações.

Destas características, as principais destacamos a seguir:

- Possui entrada diferencial e, portanto, não há necessidade de o sinal analógico, a ser convertido em digital, referenciar-se com o terra da alimentação.
- Sistema gerador de clock (oscilador) incorporado à pastilha, não necessitando de uma rede RC externa.
- Possui o recurso de inibir a conversão "congelando" em, suas saídas, por intermédio de uma memória interna, o último resultado.
- Fornece, em suas saídas a informação digital no código BCD, ou seja, "decimal convertido em binário", multiplexadas (a multiplexação de um sinal digital em muito se assemelha à adotada para transmissão de FM estéreo, a qual será vista em lição futura), para três dígitos, o que viabiliza o seu armazenamento por processos digitais.
- Possibilita leituras diretas das tensões compreendidas na faixa de -99 mV a 999 mV.
- Para leituras superiores a + 999 mV há uma indicação de sobre-escala que, quando utilizado em conjunto com o decodificador/excitador CA3161E, é mostrada como sendo a letra "E".

Para leituras inferiores a - 99 mV também há uma indicação, só que, neste caso, é uma indicação de subescala que, quando em conjunto com o decodificador CA3161E, este numeral será mostrado no display como "-".

- Pode operar dentro de uma gama de temperatura compreendida entre 0 e 75 graus centígrados.
- Suporta, durante a soldagem de cada terminal, temperaturas elevadas acima de 250 graus centígrados, durante o intervalo de tempo de, no máximo, 10 segundos.

Estes dois circuitos integrados são encontrados em encapsulamento DIL de 16 terminais, cuja função de cada um é ilustrada na **figura 23**.

O circuito integrado CA3161E, especialmente elaborado para trabalhar em conjunto com o conversor A/D CA3162E, é um decodificador BCD para sete
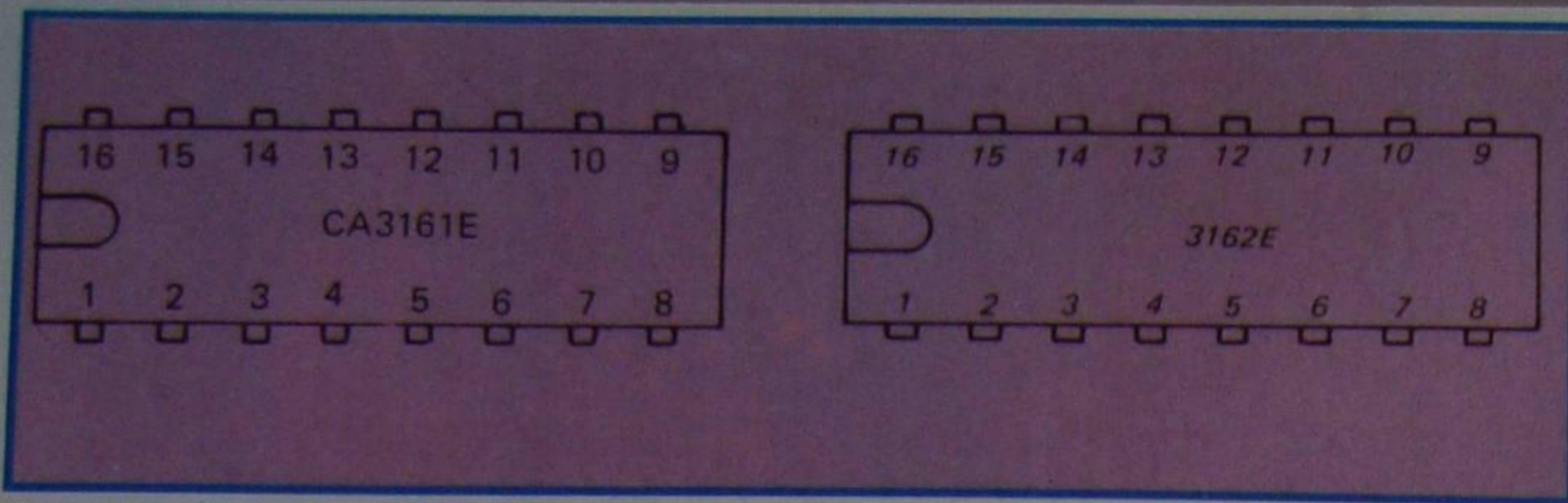
Figura 23 - CA3161E - CA3162E

Terminal	Função (CA3161E)	Terminal	Função (CA3162E)
1	entrada QB	1	Saída QB
2	entrada QC	2	Saída QA
3	não conectado	3	Saída de excitação do dígito central
4	não conectado	4	Saída de excitação do dígito mais significativo
5	não conectado	5	Saída de excitação do dígito menos significativo
6	entrada QD	6	Entrada de controle de conversão
7	entrada QA	7	Terra (negativo da alimentação)
8	terra (negativo da alimentação)	8 e 9	Ajuste de zero
9	saída e	10	Entrada em baixo
10	saída d	11	Entrada em alto
11	saída c	12	Entrada do capacitor de integração
12	saída b	13	Entrada do ajuste de ganho
13	saída a	14	Tensão positiva de alimentação
14	saída g	15	Saída QC
15	saída f	16	Saída QD
16	positivo de alimentação		

segmentos, cujas características elétricas principais são:

- Consumo típico de 35 mA, com todas as saídas em repouso, ou seja, apresentando níveis lógicos altos (ou seja tensões próximas a Vcc).

- Possui internamente fonte de corrente constante, a qual fixa o valor da corrente de cada saída, quando ativa, em 15 mA.

- Graças a este valor fixo de corrente de saída, elimina-se o uso de resistores limitadores para o display.

- Tensão de alimentação dentro do padrão TTL, ou seja, + 5 Vcc, com tolerância de 5%, abrangendo a faixa de 4,75 Vcc a 5,25 Vcc.

-Compreende em suas entradas, como sendo nível lógico alto, tensões a partir de 2 V. Como nível baixo (ou seja, tensões próximas ao terra), são consideradas tensões de até 0,8 V.

- Suas saídas são consideradas como ativas quando em nível lógico baixo; desta maneira sua utilização só é viável em conjunto com displays do tipo ânodo comum.

Tendo exposto as principais características dos dois integrados, analisaremos agora, o circuito de um módulo conversor A/D, o qual faz uso destes componentes.

O circuito completo do módulo conversor A/D pode ser visto na **figura 24**, onde o aluno facilmente identificará os dois principais componentes: o CA3162E, simbolizado por IC-01 em nosso esquema, e o CA3161E, representado nesta figura como sendo IC-02.

Vemos, pela figura 24, a presença de três capacitores, possuindo cada qual uma função específica. O capacitor C1 provê uma filtragem adicional à tensão oriunda da fonte, a qual pode ser constituída tanto por pilhas como por fontes a transformador, desde que respeite a tensão nominal de operação dos circuitos integrados, a qual é de valor de 5 Vcc.

Já o capacitor C2 filtra pequenas flutuações existentes na tensão a ser medida, e que poderiam gerar alguma instabilidade na leitura fornecida pelo módulo.

Quanto ao capacitor C3, este possui a função de capacitor de integração, que possibilita gerar uma quantidade de pulsos proporcional à tensão de entrada, para contagem.

Os transistores Q1 a Q3 operam como chaves, conectando alternada e seqüencialmente os displays à alimentação, efetuando assim uma espécie de "desmultiplexação" da informação que é enviada aos mesmos pelo circuito integrado CA3161E. O "sincronismo" entre o chaveamento e a informação, é efetuado pelo CA3162E.

Assim, quando a informação referir-se ao número correspondente ao primeiro dígito, apenas Q3 receberá, em sua base, um nível lógico baixo, entrando em saturação e permitindo o acendimento do primeiro display, enquanto que os demais transistores, neste instante, permanecerão cortados. Já no momento seguinte, quando a informação referir-se ao segundo dígito, apenas Q2 receberá em sua base o nível lógico baixo que irá levá-lo à saturação, enquanto os demais transistores permanecerão em corte, o mesmo ocorrendo com Q1 no seu devido tempo. Como a freqüência de chaveamento é relativamente elevada, o olho humano não a percebe, o que nos dá a sensação de que os três displays permanecem constantemente acesos.

O trimpot P1, atua no "ganho" do CA3162E, enquanto que o trimpot

TABELA I

CÓDIGO DOS COMPONENTES	QUANT.	ESPECIFICAÇÃO DOS COMPONENTES
P1	01	Trimpot multivoltas 50K
P2	01	Trimpot multivoltas 10K
C1	01	Capacitor de disco cerâmico de 470 nF
C2	01	Capacitor de disco cerâmico de 150 nF
C3	01	Capacitor de disco cerâmico de 220 nF
Q1, Q2 e Q3	03	Transistor bipolar BC 327
DL1, DL2 e DL3	03	Display ânodo comum PD567
IC-01	01	CA3162E
IC-02	01	CA3161E
	01	Placa de circuito impresso confeccionada
	01m	fio vermelho
	01m	fio preto
	01m	fio amarelo
	01m	solda
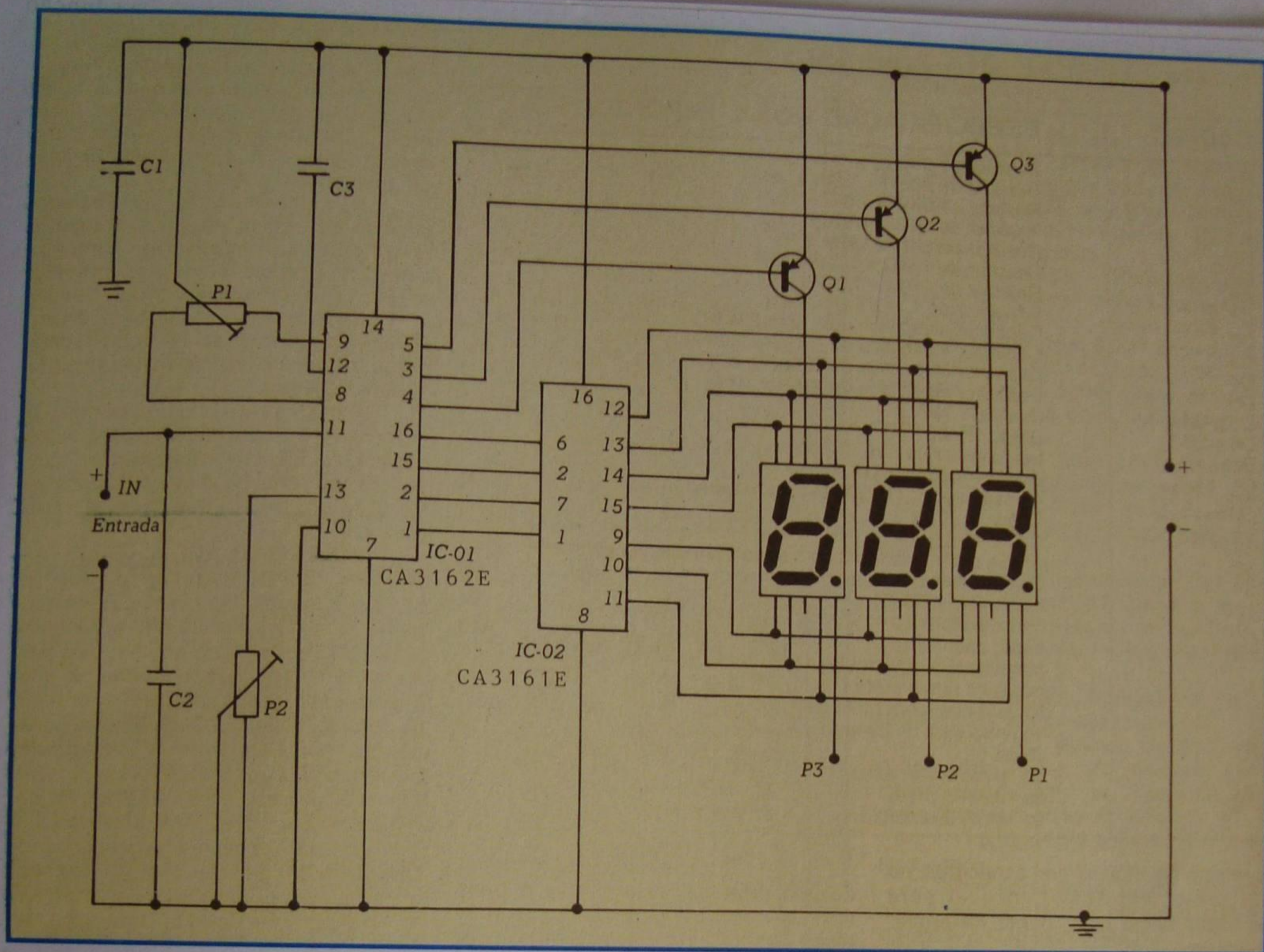
Figura 24 - Circuito conversor A/D.

P2 ajusta a referência de intervalo da faixa, o que equivale a dizer que trata-se do "ajuste zero" do conversor A/D.

Sobre o circuito resta-nos mencionar que os pontos denominados P1, P2 e P3 referem-se aos pontos do display, os quais serão utilizados para indicação das casas decimais, conforme será visto.

A montagem deste circuito é por demais simples, motivo pelo qual acreditamos que o aluno não tenha nenhum problema em realizá-la.

Nossa sugestão de placa pode ser vista na **figura 25** e a relação de material necessário à sua montagem na **Tabela I**.

Como nossa intenção é de proporcionar ao aluno **a montagem** de um voltímetro CA-CC digital, apresentamos, na **figura 26**, o circuito de um divisor de tensões, dotado de um simples retificador em ponte para a retificação de tensões alternadas, além de uma fonte de alimentação regulada e estabilizada que fornece a tensão de alimentação para o módulo conversor A/D.

Na **figura 27**, sugerimos um lay-out de placa para a montagem deste circuito, o qual, trabalhando em conjunto com o módulo conversor A/D proporcionará medidas de tensões contínuas em quatro escalas, cujo valor de medida máximo, para cada posição da chave seletora, é de; 0,99 V (1 V), 9,99 V (10 V), 99,9 V (100 V), 999 V (1 000 V).

A relação dos materiais utilizados nesta parte da montagem pode ser vista na **Tabela II**. Como o aluno pode notar, os resistores R_1, R_2, R_3 e R_4, possuem valores de resistências difíceis de serem encontrados, razão pela qual, na **figura 28**, apresentamos uma maneira de se obter o valor de resistência desejado através de associação série.

No que diz respeito à montagem, acreditamos que o aluno não terá problemas em realizá-la portanto faremos apenas as considerações à respeito da calibragem do circuito conversor A/D, não levando em consideração o circuito do divisor de tensão.

Primeiramente forneça alimentação ao circuito, o qual irá apresentar qualquer valor numérico em seu mostrador. Para alimentá-lo, empregue uma fonte que forneça 5 Volts.

Com o display aceso, o aluno deverá conectar o fio de entrada do conversor (fio vermelho "in +"), o qual servirá de "ponta de prova" positiva ao terra do circuito. O display irá indicar algum valor próximo de zero. Com uma chave de fenda, atue no cursor do trimpot multivoltas P1, até que a leitura obtida no display seja "000". Esta indicação é atingida em uma determinada faixa de ajuste, sendo ela um tanto "estreita". O aluno deverá procurar o ponto desta faixa em que a indicação seja fixa e constante. Após isto, aguarde alguns segundos para verificar a estabilidade do ajuste e, se houver necessidade, efetue algum retoque no mesmo.

Em seguida, desconecte a "ponta de prova" do negativo da alimentação e ligue à mesma o cátodo de um diodo retificador comum.

O ânodo deste diodo deverá ser ligado ao pólo positivo de uma pilha comum, enquanto que o pólo negativo

TABELA II

CóDIGO	ESPECIFICAÇÃO DOS COMPONENTES
R1	Resistor de 900KΩ x 1/8W ± 1%
R2	Resistor de 90KΩ x 1/8W ± 1%
R3	Resistor de 9KΩ x 1/8W ± 1%
R4	Resistor de 1KΩ x 1/8W ± 1%
R5	Resistor de 1KΩ x 1/8W ± 1%
R6	Resistor de 10KΩ x 1/8W ± 1%
R7	Resistor de 470Ω x 1/8W ± 1%
C1	Capacitor de 1,5KpF x 1 K volt
C2	Capacitor eletrolítico de 2.200μF x 16V
C3	Capacitor eletrolítico de 470μF x 10V
C4	Capacitor eletrolítico de 220μF x 10V
C5	Capacitor eletrolítico de 47μF x 10V
D1 a D4	Diodo BY 127
D5 e D6	Diodo 1N4001
Dz1	Diodo zener de 5V6 x 1/4W
Q1	Transistor bipolar TIP 31
TR	Transformador 110/220/9 + 9 - 150mA
S1	Chave H-H 1 x 2
S2	Chave H-H 1 x 2
S3	Chave push-boton 2x2 com trava para circuito impresso
S4	Chave rotativa 2x4
	borne vermelho (1)
	borne preto (1)
	borne azul (2)
	ponta de prova vermelha (1)
	ponta de prova preta (1)
	fio vermelho para multímetro
	fio preto para multímetro
	solda
	fio 16 AWG vermelho
	fio 16 AWG preto
	fio 16 AWG amarelo

desta pilha deverá ser conectado ao fio preto "entrada -", o qual será utilizado como uma "ponta de prova" negativa.

Estando o circuito-série formado pela pilha em conjunto com o diodo devidamente interligado ao módulo, o aluno deverá atuar no eixo do trimpot multivoltas P2 até obter, no display, a indicação "900", pois o instrumento efetua a leitura em milivolts. Porém alertamos que este ajuste não deve ser preciso, devendo apresentar uma certa flutuação no valor da leitura, ou seja, a tensão lida pelo circuito deverá variar entre "900" e "901".

Desconecte o fio de entrada positiva do cátodo do diodo e ligue-o novamente ao negativo do circuito, quando o mesmo deverá novamente apresentar a indicação "000". Neste instante, o aluno deverá atuar novamente no eixo do trimpot P1 para obter o máximo de estabilidade possível nesta leitura.

Em seguida, conecte novamente o fio de entrada positiva ao cátodo do diodo e, novamente, atue em P2 até obter no display a indicação "900", com o mínimo de flutuação possível.

OBSERVAÇÃO: A leitura de 900 mV, apresentada no display, é devida à queda de tensão oferecida pelo diodo, de valor de 600 mV, sobre a tensão oferecida pela pilha, de valor de 1 500 mV. Porém alertamos que nos referimos aos valores **nominais** de tensão envolvidos. Conclui-se que não se trata de um ajuste exatamente preciso, porém apenas referencial.

O circuito, nesse instante, já se encontra em condições perfeitas de uso, o que pode ser verificado ao "medirmos" diretamente a tensão oferecida pela pilha de teste.

Ao conectarmos a pilha entre os fios de entrada, obedecendo as polari-

Figura 25 - Lay-out da placa para o módulo conversor A/D.
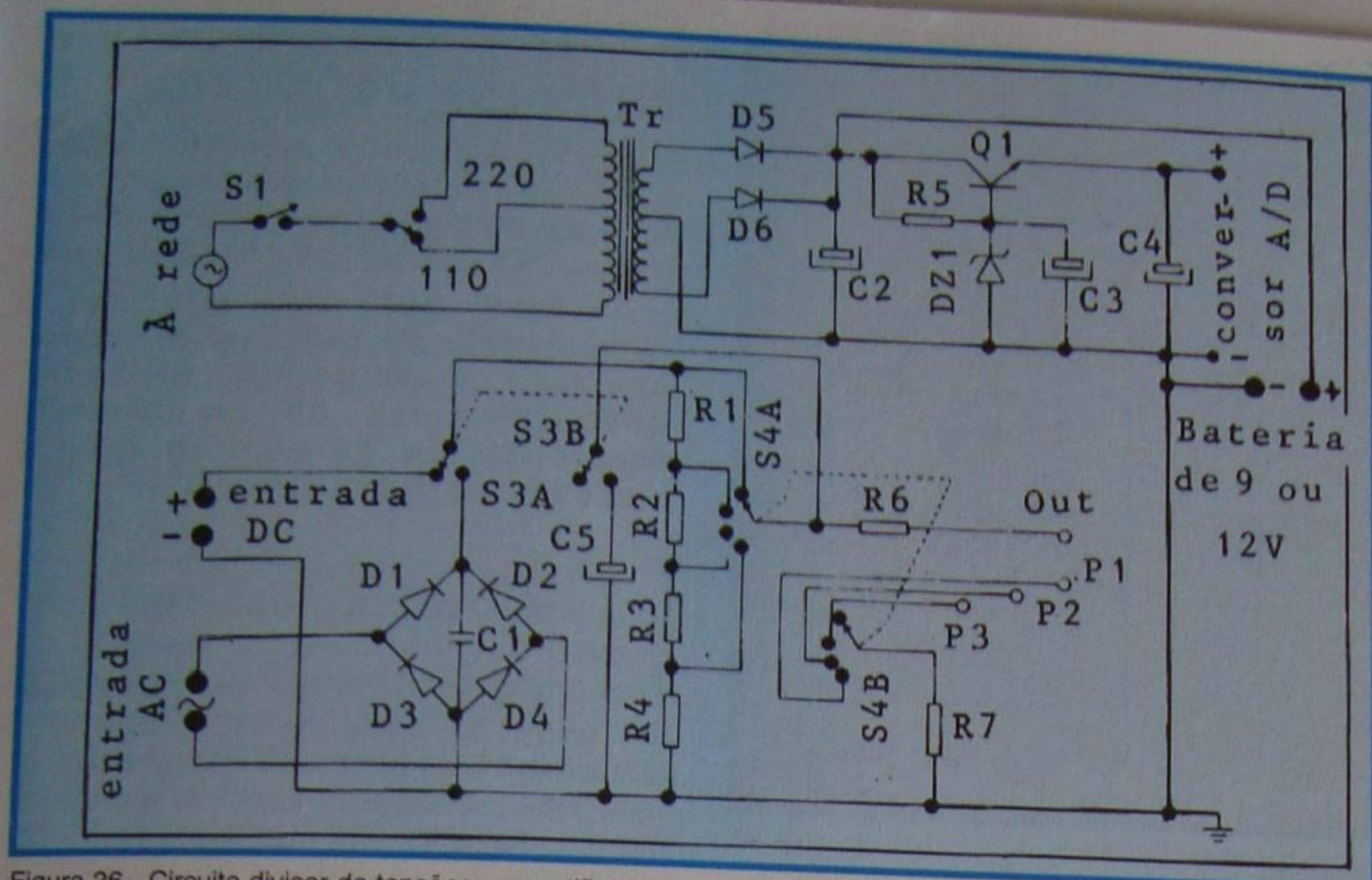
Figura 26 - Circuito divisor de tensões com retificador para leituras de VCA e fonte de alimentação.
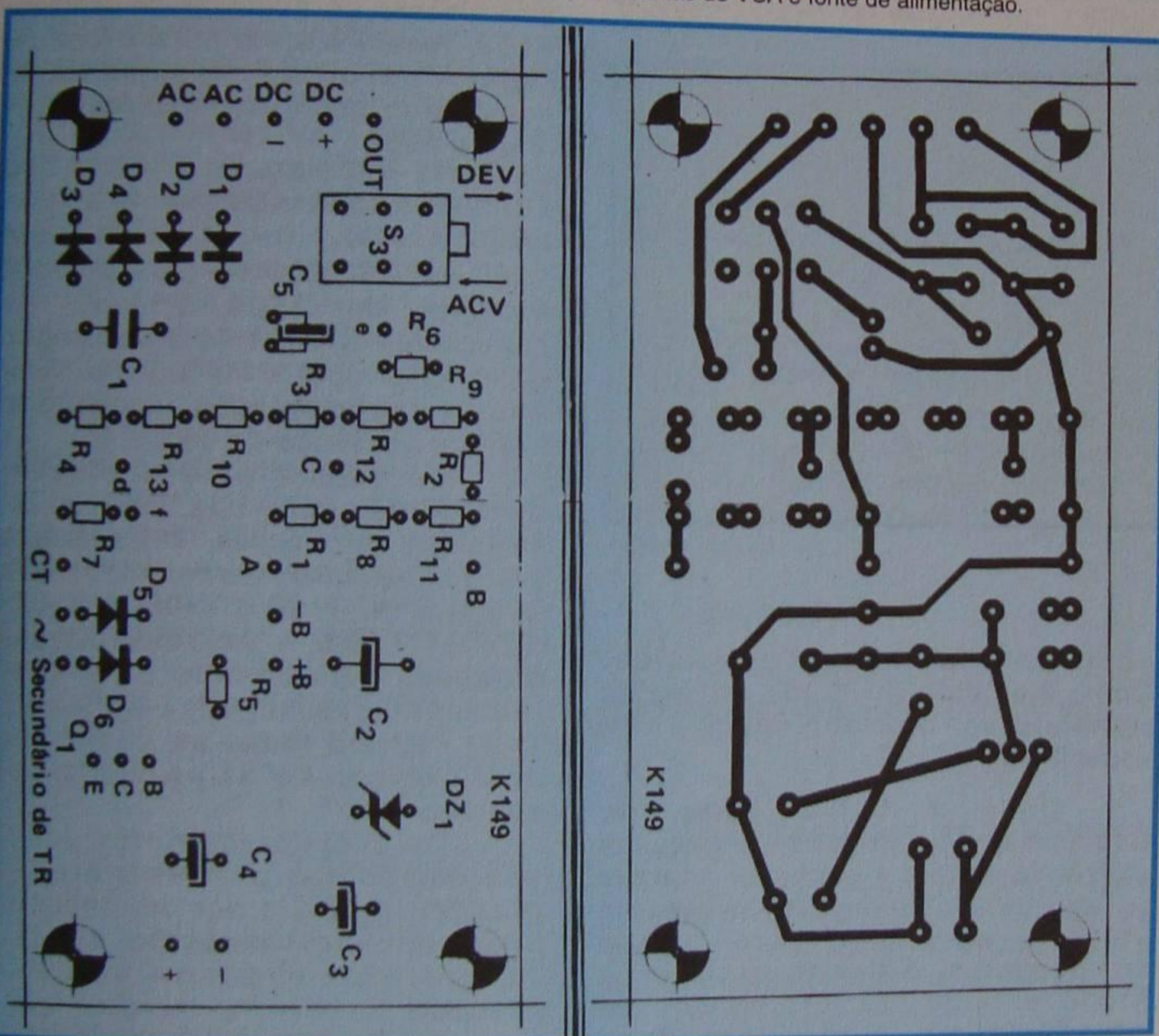
Figura 27 - Lay-out de placa para o divisor de tensões AC/DC com fonte de alimentação.

dades, o circuito apresentará nos displays a indicação de sobreescala pois, apesar de aceitar em suas entradas tensões de 15 V, está dimensionado de modo a converter valores de tensões até a 999 mV. Surgirá então, nos displays, a indicação "EEE".

Invertendo-se os fios de entrada, o circuito, desta feita, apresentará a indicação de subescala, visto que, apesar de aceitar em suas entradas tensões de até - 15V, efetua conversão de valores de até -99mV. Aparecerá nos displays a indicação "- - -", a qual representa que o valor da tensão de entrada, além de ser negativo, ultrapassa o valor mínimo para conversão.

Os ajustes, indicações e interligações citados até o instante referem-se ao conversor A/D, quando utilizado isoladamente. Caso o aluno tenha obedecido todas as instruções apresentadas, é agora portador de um módulo conversor A/D, o qual pode ser, de imediato, empregado como milivoltímetro DC.

Porém, caso o aluno queira converter seu módulo em voltímetro AC/DC, bastará acoplá-lo ao módulo de divisor de tensão que já apresentamos.

O aluno deverá orientar-se pelas indicações contidas nas figuras **27** e **29** para interligar, por intermédio de fios, a chave à placa. Utilize pedaços de fio de, no máximo, 10 cm para efetuar tais ligações.

Nos pontos indicados por "entrada AC" o aluno deverá conectar, com o auxílio de fios, bornes azuis. O borne vermelho deverá ser conectado ao ponto indicado por "DC+", enquanto que o borne preto deverá ser interligado ao ponto indicado por "DC-".

Estando tudo devidamente montado, chegou o momento de interligar os módulos. Para realizar esta operação proceda da seguinte maneira:

- O ponto indicado por "+" na placa da figura **27** deverá ser conectado à placa do módulo conversor A/D no ponto também indicado por "+".
- Proceda igualmente em relação aos pontos indicados por "-".
- O ponto indicado por "out" na placa da figura **27** deverá ser interligado no ponto "in+", presente na placa do módulo conversor A/D.
- Interligue os pontos P1, P2 e P3 à chave.
- No ponto indicado por "+B" na placa da figura **27** conecte o fio vermelho do clip para baterias.
- No ponto indicado por "-B" na placa da figura **27** conecte o fio preto do clip para baterias.
- Corte o fio conectado ao ponto "entrada -" conectado à placa do conversor A/D, pois o mesmo não mais terá utilidade.

Estando tudo devidamente interligado, basta alimentar o circuito e efetuar pequenos retoques nos ajustes do conversor A/D. Portanto, releia tal item e proceda tal qual está escrito, porém com uma pequena alteração: chaveie o circuito para a escala de 10 Volts e conecte a entrada "DC+" à base Q1. Retoque então os ajustes para que o voltímetro indique 5,6 Volts que é a tensão de zener de Dz1, e o voltímetro estará em perfeitas condições de uso.

GERADOR DE ÁUDIO

Em prosseguimento a esta série de lições especiais, onde estamos descrevendo os instrumentos indispensáveis a uma oficina
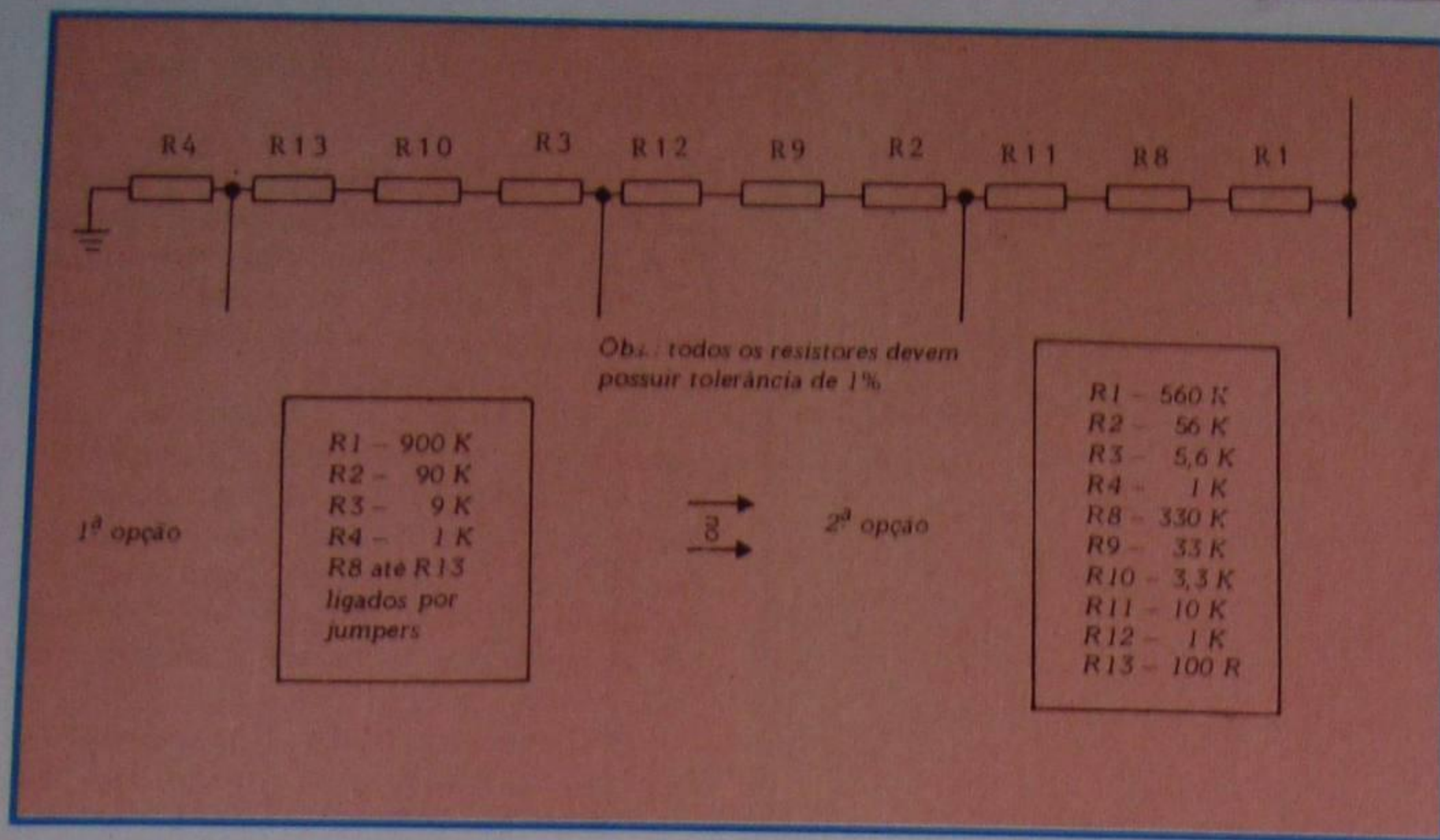
Figura 28- Equivalência dos resistores do divisor de tensões.
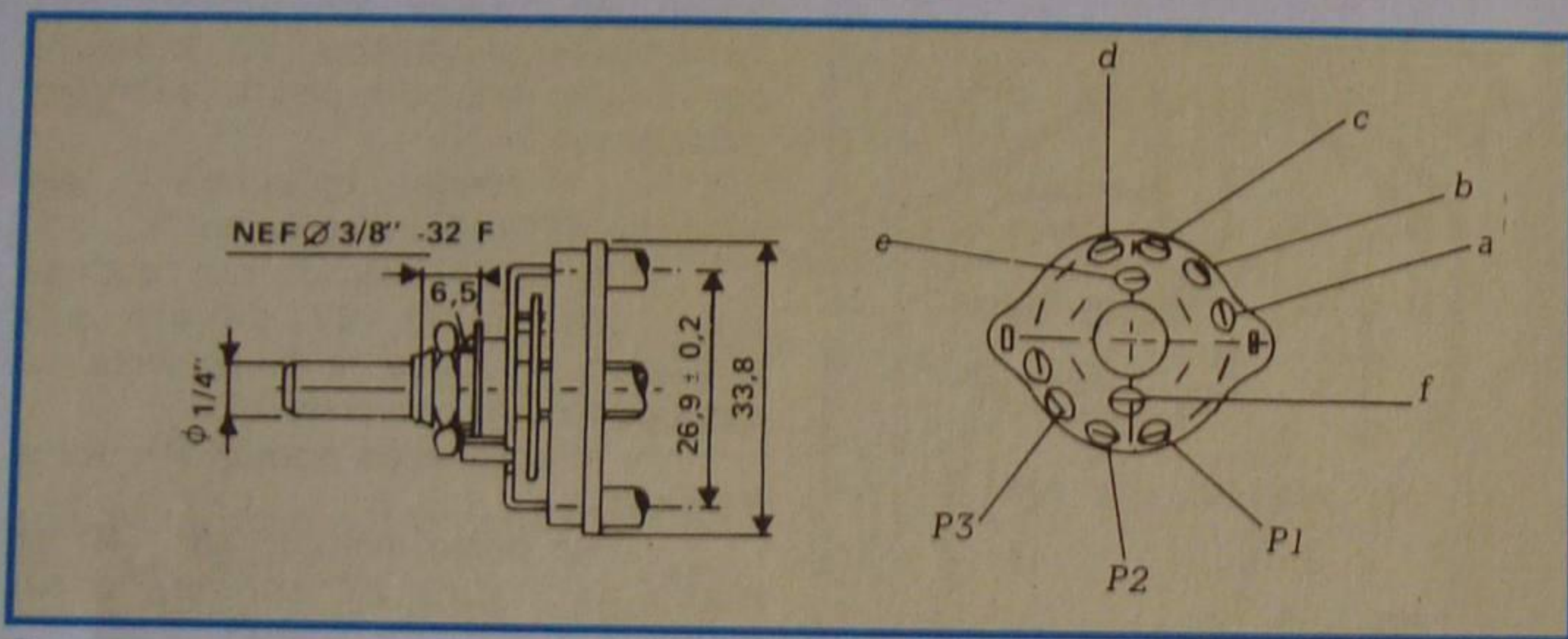
Figura 29 - Disposição de ligações na chave.

de consertos e montagens de aparelhos eletrônicos, principalmente de som e imagem, vamos apresentar agora o gerador de áudio, também conhecido por Gerador de Funções. Tal instrumento, como o aluno não ignora, gera freqüências audíveis e também supersônicas, indispensáveis na verificação do desempenho de amplificadores de som, além de outras aplicações específicas, tais como verificação das respostas dos circuitos integrados usados em TV, pesquisa de defeito em receptores, pelo método de injeção de sinal, e muitas outras que o aluno descobrirá no decurso de sua vida profissional.

I - Circuitos osciladores

Para gerar a onda de baixa freqüência são utilizados os circuitos básicos que apresentamos em lições anteriores de nosso curso, tais como o circuito de Hartley, de Colpitts, de ponte de Wien e multivibradores. Como elemento ativo são utilizados transistores, operacionais ou CIs específicos.

Dada a baixa gama de freqüências a ser coberta, os circuitos utilizando indutor e capacitor (Hartley e Colpitts, por exemplo) requerem valores elevados para esses componentes. A fim de evitar esse inconveniente, os projetistas de geradores de áudio têm dado preferência aos osciladores do tipo RC, principalmente os de ponte de Wien, que, como o aluno sabe, geram onda senoidal de grande pureza. Quando se trata de gerar somente onda quadrada ou retangular, os multivibradores satisfazem plenamente. A onda retangular de um multivibrador não é pura, isto é, apresenta distorção; por isso, quando se deseja um gerador de áudio que produza onda retangular com baixa distorção, é costume utilizar o multivibrador apenas como "gatilho" para uma unidade conformadora de onda, geralmente do tipo "disparador de Schmitt".

II - Descrição dos circuitos do gerador de áudio

a) Introdução

Para que seja possível a compreensão do princípio do funcionamento de um gerador de áudio, utilizaremo-nos de um circuito hipotético de gerador, o qual é mostrado na **figura 1**.

b) Oscilador senoidal

Conforme pode ser observado no esquema elétrico apresentado, o oscilador tem uma alta impedância de entrada constituída por um transistor FET (T100) na configuração de seguidor de supridouro, que acoplado diretamente ao seguidor de emissor, T102, levam o sinal para o circuito regenerativo de realimentação constituído pelos transistores T104, T106 e T108.

Os transistores T106 e T108 conduzem alternadamente a cada meio ciclo, produzindo uma realimentação positiva para o circuito emissor de T104 através dos capacitores C106-C108 e da lâmpada L100. O trimpot R114 dá um ajuste fino de realimentação, controlando assim a amplitude de oscilação.

A freqüência de oscilação é controlada por uma chave que seleciona os circuitos "T" conectados entre a saída do circuito oscilador (emissor de T106 e T108) e a porta do FET T100. A característica de defasagem do circuito é tal que a realimentação negativa aplicada a T100 cancela todas as freqüências com exceção da selecionada pelo operador.

Os circuitos de filtros em "T" são compostos por resistores de precisão de 1% e por um capacitor variável, com os quais pode-se combinar para obter-se a freqüência desejada.

A finalidade da lâmpada L100, no ramo de realimentação, é estabilizar a amplitude do sinal. Aumentando o fluxo de corrente através de L100 ocorre um aumento de sua resistência, o que provoca um decréscimo da corrente, ao passo que uma queda no fluxo de corrente implica em um decréscimo da resistência de L100, o que permite um aumento de corrente. Desta maneira, L100 estabiliza a corrente de realimentação, estabilizando assim a amplitude do sinal. O ponto de operação da lâmpada é corrigido conforme a faixa através dos resistores R162 - R164 - R166 - R168.

O sinal senoidal no circuito de emissor de T106 e T108 está acoplado, através de C110 - C112, ao atenuador de saída, composto de um potenciômetro duplo para ajuste contínuo e uma chave que seleciona divisores resistivos para degraus de amplitude do sinal (chave atenuadora CH102).

c) Onda quadrada

O sinal de onda quadrada é desenvolvido pelo circuito disparador de Schmitt, constituído pelos transistores T200 e T202,que é disparado pelo sinal senoidal da saída de T106 e T108. Quando o sinal de entrada cresce positivamente, até um valor prédeterminado, T200 está em franca condução e T202 está cortado. Quando a polaridade do sinal de entrada se inverte e começa a ficar suficientemente negativo, T200 fica cortado e T202 passa a conduzir.

A condução de T202 e T200, em cada meio ciclo, produz uma onda quadrada no coletor de T202. O trimpot R204 regula a tensão DC de base deT202, estabelecendo portanto o ponto onde a onda senoidal de entrada dispara T200 e T202, controlando assim a simetria da onda quadrada.

A saída do sinal de onda quadrada é acoplada através de C208 ao circuito seguidor de emissor composto por T204 e T206 e daí para o atenuador de saída composto por um potenciômetro de ajuste contínuo R222 e uma chave que seleciona divisores resistivos para degraus de amplitude do sinal (chave atenuadora CH200).

d) Fonte de alimentação

O circuito de alimentação comporta um transformador com primário para 110 e 220V AC e um secundário com center tap ligado à massa que é a referência de tensões.

O transistor T300, em conjunto com o diodo D306, constitui o regulador de tensão positiva.

O transistor T302, em conjunto com o diodo D308, constitui o regulador de tensão negativa.

III - Especificações

Como em todo instrumento de laboratório, a aquisição do gerador de áudio está condicionada à necessidade do serviço.

Assim, uma oficina que somente trabalhe com amplificadores de som não necessita de aparelho com alcance de freqüência maior do que cerca de 50 KHz, enquanto que, se o uso se destina também à verificação de amplificador de vídeo em TV, ou amplificador de RF em qualquer outro tipo de aparelho, haverá necessidade de alcance de cerca de 1 MHz.

Uma vez determinado o tipo de trabalho que deve cumprir o gerador, o técnico deve adquiri-lo através de suas especificações. As mais importantes são:

1ª) Alcance de freqüência

Geralmente é indicada pelos números menor e maior da freqüência gerada e pelo número de faixas nas quais as freqüências estão distribuídas.

Exemplo:

4 Hz a 2 MHz em 6 faixas

Costuma-se também indicar os extremos de cada faixa.

2ª) Distorção

A distorção é indicada em porcentagem, sendo especificada a faixa de freqüência e também a impedância de carga em que a distorção foi medida.

Exemplo:

menor que 1% de 20 Hz a 20 KHz, sob carga de 600 Ω.

3ª) Resposta de freqüência

É indicada em decibéis, para todo o alcance, na impedância de carga especificada e a freqüência tomada como referência (0 dB).

Exemplo:

± 1 dB de 20 Hz a 40 KHz, na carga de 600 Ω; referência de 1 KHz.

4ª) Saída

A saída costuma ser indicada em tensão sobre a carga especificada ou em potência sobre a mesma carga. Evidentemente, as duas indicações são equivalentes, pois, sabendo-se uma, deduz-se a outra.

Exemplo:

1 W em 600 Ω ou
24,5 V em 600 Ω.

5ª) Precisão da escala (dial)

É indicada em porcentagem.

Exemplo:

dentro de ± 2%.

Quando o gerador é também de onda quadrada, são indicados dados relativos a essa forma de onda, tais como:

a) Tensão de saída:

Indicada em volt pico a pico.

b) Tempo de subida e de descida:

Como é óbvio, a indicação é em segundos ou seus submúltiplos, em relação à carga especificada.

Exemplo:

menor que 50 ns (nanossegundos) em 600 Ω.

Deve-se observar que a forma de onda será tanto mais perfeita quanto menor for o tempo de subida e descida.

Fora essas especificações elétricas, o fabricante apresenta ainda as especificações mecânicas, tais como peso, dimensões, material da caixa, cor, etc.

IV - GERADOR DE FORMAS DE ONDA

O multivibrador produz onda retangular ou quadrada que, segundo mostraremos mais adiante, se presta excelentemente para a verificação da resposta de amplificadores, sejam eles de baixa ou alta freqüência. Todavia, um tom puro tem, como vimos em outra lição do curso, forma senoidal; portanto, para a verificação da distorção de amplificadores de áudio, é necessário aplicar à sua entrada um sinal senoidal e verificar a forma de onda desse sinal na saída, através de um osciloscópio. Observe desde já o aluno que o emprego do gerador de áudio é feito invariavelmente em conjunto com o osciloscópio.

O gerador de áudio ideal é aquele que produz ondas senoidais e

R 100
R 10-
R 106
R104
C 100
T-100
D
G
S
T 102
C 102
D 100
R 110
T 104
R 112
R 114
L 100
C 104
R 108
R 116 82
P-106
P105
T 106
D 102
D 104
R 120
R 122
T 108
R 118 10K
C 106
C 108
C 116
C 118
P 102
R 142
R 144
R 146
R 148
R 150
C 122
C 124
CH 100
Frequência
R 152
R 154
R 156
R 158
R 160
C-126
C 128
P105
R162
R164
R166
R168
CH 100
Amplitude
P-106
DISSIPAÇAO DOS RESISTORES
= 1/4W
= 1/2W
1W
R-200
C-200
R-202
R-204
C-110/C-112
R-124
R-126
R-128e130
R-138
R-134
R-132
R 136
X1
X.1
X.01
CH 102
SAIDA
Atenuadora
R-206
T 200
R 208
R 210
C-206
R 214
T 202
R 212
C-208
D 200
R 216
T-204
R-218
T-206
R-220
R 222
R 224
R 226
R 230
R 228
R 232
CH 200
SAIDA
P 300
R 300
D 302
R 302
D 304
C 300
C 302
C 304
C 306
T 300
R 304
D 306
D 308
R 306
T 302
C 308
C 310
D 310
D 314
D 312
D 316
TR 300
220
110
F 300
CH-300

Figura 2 - Circuito recortador.

quadradas. Os tipos comerciais mais elaborados geralmente cumprem as duas funções, isto é, geram tanto ondas senoidais como quadradas e, eventualmente, triangulares.

A transformação da onda senoidal em quadrada pode ser feita muito facilmente pela utilização de circuitos recortadores, como o que apresentamos na **figura 2**, por exemplo. Como se nota, temos aí dois diodos ligados em série e polarizados pela bateria (Bat.). Enquanto o sinal de entrada tem tensão instantânea menor que a tensão da bateria, ele passa livremente pelos diodos. Quando a tensão instantânea se iguala ou supera a da bateria, um dos diodos fica polarizado no sentido inverso, não dando condução e, conseqüentemente, cortando o topo de onda a partir desse valor.

Embora os circuitos recortadores com diodos sejam muito simples, têm suas limitações principalmente no que se refere à tensão, já que somente uma pequena amplitude da onda senoidal pode ser aproveitada, se se deseja que a onda se aproxime bastante da quadrada. Portanto, embora seja fácil, em laboratório, improvisar um gerador de ondas quadradas a partir do gerador de onda senoidal, no projeto de um gerador profissional o recortador com diodos quase nunca é utilizado, preferindo-se o conformador de onda do tipo "disparador de Schmitt".

O disparador de Schmitt, que foi citado anteriormente, nada mais é que um circuito multivibrador (estes circuitos serão estudados nas lições de televisão) do tipo biestável. A grande vantagem do disparador é que dará, na saída, uma onda quadrada quase perfeita para qualquer tipo de impulso aplicado na entrada, e que o tempo de subida e descida da onda (mais adiante explicaremos o que é isso) não depende da amplitude do sinal de entrada. Na **figura 3**, apresentamos o circuito básico do disparador de Schmitt, transistorizado.
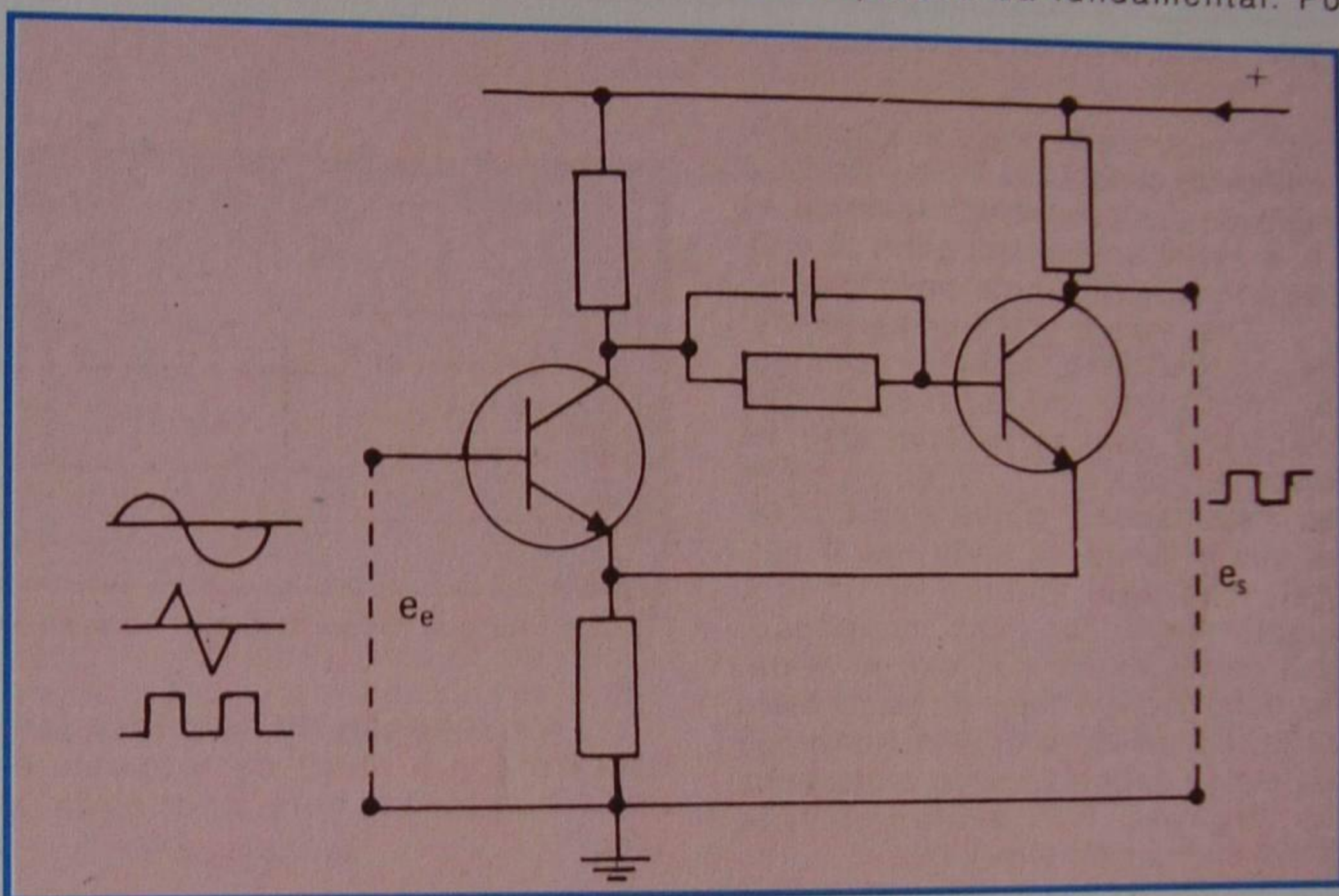
Figura 3 - Circuito básico de um disparador schmitt.

A onda quadrada, como se afirmou anteriormente, e será mostrada logo mais, ao tratarmos de sua aplicação na verificação da resposta de freqüência, desvio de fase, etc., de um amplificador, é de grande utilidade, o que justifica a montagem ou aquisição de gerador de tal tipo de onda e também a apresentação de suas principais características, como faremos a seguir.

A análise matemática demonstra que a onda quadrada é formada a partir de uma onda senoidal, à qual são somados todos os harmônicos de ordem ímpar da fundamental. Em outras palavras, produz-se uma onda quadrada de 10 Hz, por exemplo, pela soma das amplitudes de uma onda senoidal de 10 Hz e de seus harmônicos de 30 Hz, 50 Hz, 70 Hz, 90 Hz, etc. É desta propriedade que se vale o técnico para tirar conclusões sobre a resposta de um amplificador, quando excitado por uma onda quadrada.

Uma onda quadrada (retangular) perfeita seria formada de pulsos verticais de duração nula (instantâneo), seguidos de pulsos horizontais de duração finita, como mostramos na **figura 4**.

Tenha em mente, o aluno, que, quando se fala em onda quadrada, o termo "quadrada" não é tomado em sua acepção própria, pois a onda pode ter forma retangular. Aliás, pela explicação dada do modo de formação da onda quadrada, não é difícil entender que a relação entre a largura e a altura da onda depende da amplitude da fundamental. Por isso, quando se diz "onda "quadrada", deve-se entender, indiferentemente, também onda retangular.
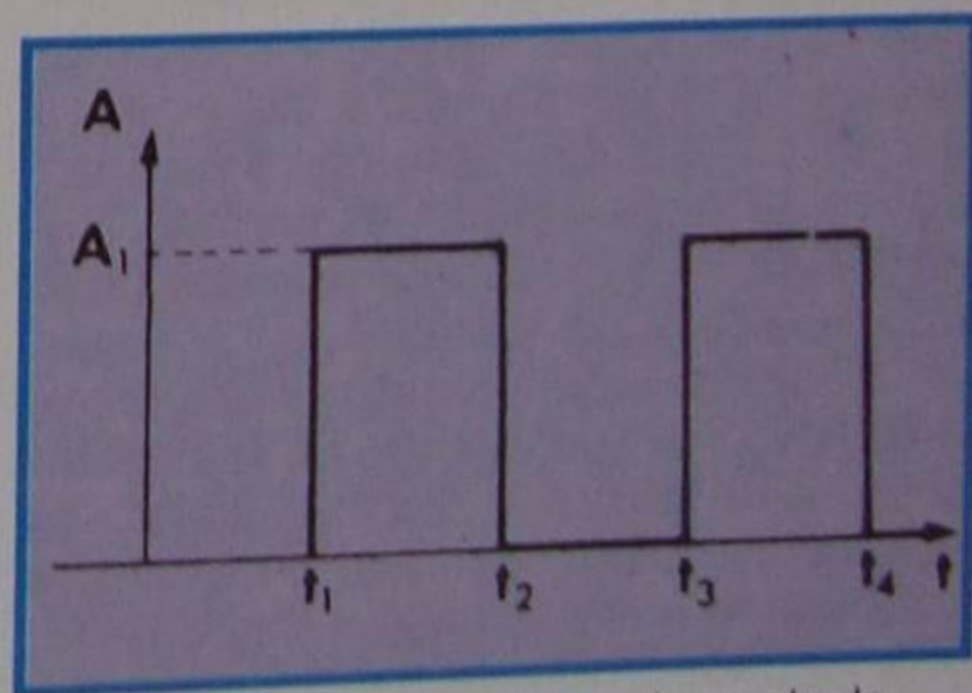
Figura 4 - Exemplo de uma onda quadrada.

Isto posto, voltemos à figura 4, onde representamos os tempos no eixo horizontal e a amplitude no vertical. O aluno verifica que no tempo t1 , por exemplo, a amplitude que era 0 passa instantaneamente ao
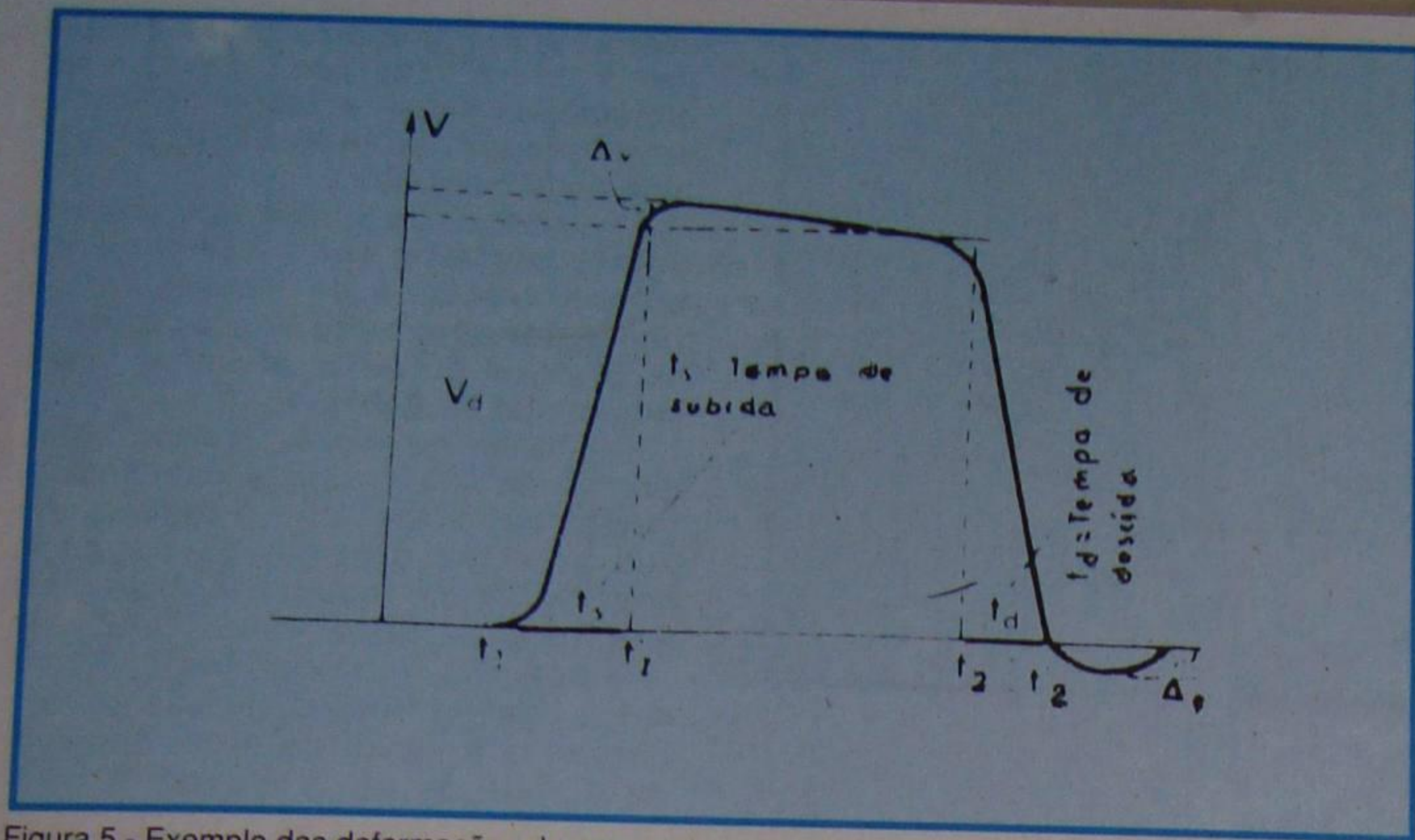
Figura 5 - Exemplo das deformações de uma onda quadrada.

Para a prática são necessários o gerador de áudio de ondas quadradas e o osciloscópio. A entrada do amplificador sob teste é ligada à saída do gerador de áudio, e a saída do amplificador à entrada vertical do osciloscópio, como indicamos na **figura 6**. Deve-se tomar o cuidado de utilizar a saída do gerador de áudio que não "carregue" em demasia a entrada do amplificador. Em ou palavras, se o amplificador tem entrada de alta impedância, deve-se cuidar para que a saída do gerador de áudio também o seja. Se necessário usa-se um adaptador de impedâncias. A saída do amplificador deve ser "carregada" por um resistor de valor igual ao da impedância do alto-falante. É conveniente que a potência de dissipação nominal desse resistor seja da mesma ordem de grandeza da máxima potência de saída do

valor A1; entre t1 e t2, a amplitude mantém-se constante. No tempo t2, a amplitude cai instantaneamente de A1 a 0, e assim se mantém entre t2 e t3. A seguir, tudo se repete ciclicamente.

Ora, não é difícil compreender que um fenômeno, qualquer que seja ele, leva certo tempo, mesmo que infinitésimo, para se realizar; logo, os pulsos verticais em t1, t2, t3, etc., não são instantâneos, o que significa dizer que o flanco da onda não é vertical, mas ligeiramente inclinado. Quanto menor for essa inclinação, mais perfeita será a forma de onda. Por outro lado, o topo da onda sofre um ligeiro arredondamento, de modo que ela se deforma, como mostramos na **figura 5**, evidentemente exagerando as deformações.

O tempo que o pulso leva para atingir o valor máximo é chamado de tempo de subida, e aquele que demora para passar do máximo ao mínimo é chamado de tempo de descida.

Quando se aplica uma onda quadrada, supostamente perfeita, a um amplificador, este deforma em menor ou maior grau essa onda, e é essa deformação que permite analisar a qualidade do amplificador.

Em certos projetos, como de amplificador de vídeo para TV ou radar, são impostos valores máximos para a deformação, principalmente para o tempo de subida e de descida, sobretensões, etc., para garantir que o amplificador reproduza o sinal sem distorcer a fase e a freqüência.

Para o nosso estudo atual, é suficiente saber que um tempo de subida muito alto implica em má resposta às freqüências altas; o arredondamento exagerado do topo da onda quadrada implica em distorção de fase, e alta sobretensão (Δ_V, na figura 5) mostra que o amplificador tem má resposta nas freqüências baixas.
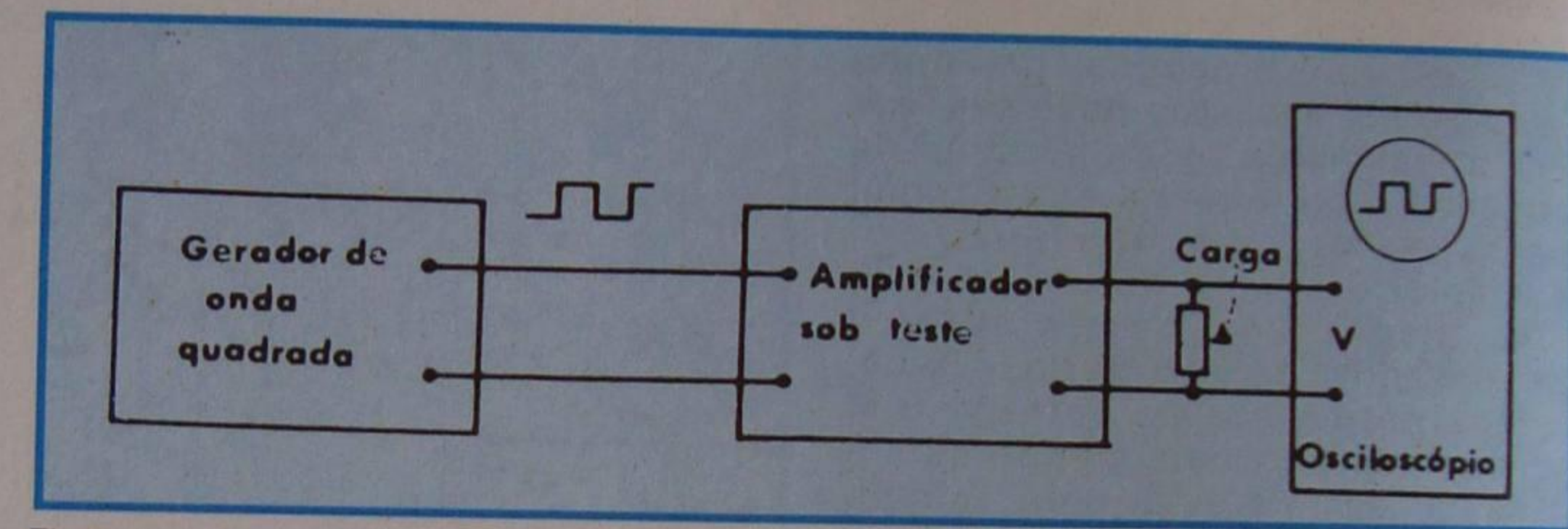
Figura 6 - Maneira de ligar o gerador de áudio e o osciloscópio ao amplificador em teste.

A qualidade do amplificador, interpretada a partir da resposta à onda quadrada, será analisada a seguir.

V - Empregos do gerador de áudio

Inúmeras são as aplicações do gerador de áudio no campo da eletrônica. Daremos em seguida algumas delas; entretanto, o aluno, familiarizado com seu funcionamento, não terá dificuldades em descobrir outros usos.

a) Verificação da resposta de amplificadores de áudio

Para o técnico projetista ou montador de amplificadores de som de alta-fidelidade, a prova com a onda quadrada é o meio mais simples e eficaz para analisar as características do amplificador no que se refere à resposta de freqüência, desvio de fase, resposta a transitórios, etc.

amplificador. Por exemplo, se o amplificador for de 10 W com impedância de saída (alto-falante) de 4 Ω, empregar-se-á, para a prova, um resistor de 4 Ω, com 10 W ou mais de dissipação.

Para que o resultado da prova não seja afetado pelo amplificador vertical do osciloscópio, é conveniente que sua resposta de freqüência seja plana até, pelo menos, 10 vezes a freqüência de prova. Por exemplo, se a prova for feita com onda quadrada de 1 KHz, a amplificação vertical do osciloscópio deverá ser plana até, no mínimo, 10 KHz. De um modo geral, todos os osciloscópios, mesmo os mais baratos, satisfazem a essa exigência.

Uma vez ligados os aparelhos - gerador, amplificador e osciloscópio - dá-se início à prova:

1º) Sintoniza-se o gerador na freqüência desejada, digamos 1 KHz, e atua-se no atenuador de saída do gerador e nos de entrada dos amplificadores vertical e horizontal do osciloscópio, de modo que na tela apareça figura comodamente analisável.

2º) Atua-se no seletor de

sincronismo, de maneira a ter-se duas ou três ondas perfeitamente estáveis na tela.

3º) Agora, pela observação da onda reproduzida, estamos em condições de tirar conclusões importantes sobre as características de resposta de freqüência do amplificador. De fato, suponhamos que a onda reproduzida seja perfeitamente igual à original, como mostramos na **figura 7a**. Isto indica que o amplificador não introduz deformação, isto é, amplifica bem tanto a fundamental como os harmônicos da onda quadrada.

Se a onda quadrada mostrada no osciloscópio tiver a forma da **figura 7b**, poderemos concluir que o amplificador está reforçando a fundamental e, portanto, tem deficiências na amplificação de agudos. Esta conclusão decorre dos esclarecimentos que apresentamos sobre a onda quadrada. De fato, como ela é formada por uma onda senoidal e todos os seus harmônicos ímpares, resulta que, cortando esses harmônicos a partir de certa ordem, há arredondamento do topo da onda quadrada, devido à predominância da onda senoidal de maior amplitude, que é, evidentemente, a fundamental.

Se a onda quadrada apresentar-se como a mostrada na **figura 7c**, ou seja, com a concavidade do topo voltada para cima, a deficiência do amplificador estará na reprodução das freqüências baixas, pois ele atenua a fundamental.

Quando a figura se apresenta como a mostrada em 7c, pode-se concluir que há atenuação em um determinado harmônico, isto é, o amplificador está funcionando como um filtro para a freqüência desse harmônico.

O aspecto da onda apresentada na **figura 7d** indica que há desvio de fase das freqüências baixas, com adiantamento dessas freqüências.

Situação inversa ocorre quando a onda quadrada se apresenta como na **figura 7e**. Aqui também há desvio de fase, todavia, trata-se de atraso das freqüências baixas em relação às altas.

Tendo a onda reproduzida no osciloscópio o aspecto da **figura 7f**, conclui-se que, além do adiantamento de fase das freqüências baixas, há também deficiência na amplificação das referidas freqüências.

A reprodução da onda quadrada com o aspecto da **figura 7g** indica que apenas os harmônicos de alta freqüência são amplificados. Essa situação é muito rara na amplificação.

A imagem da onda quadrada como aquela que aparece na **figura 7h** indica atenuação dos harmônicos de freqüência elevada, ou seja, amplificação deficiente nos agudos. Se a perda de amplificação dos harmônicos altos for excessiva, a imagem que aparece na tela do osciloscópio se aproximará bastante à de uma senóide.

Imagem como a da **figura 7i** indica que há oscilação de freqüência alta, que se superpõe à onda quadrada original.

Estas são, portanto, as principais conclusões tiradas da observação direta da resposta do amplificador à onda quadrada.

Figura 7 - Formas de onda para análise.

Observações:

1ª) Fixamos a freqüência da onda quadrada em 1 KHz; entretanto, na prática, ela pode tomar qualquer valor dentro da gama audível e é mesmo conveniente que a prática se faça para diversas freqüências.

2ª) Ensaiamos o amplificador de áudio como um todo; porém, se a imagem da onda quadrada indicar anormalidade, a prova deverá ser efetuada individualmente para cada estágio amplificador, introduzindo-se o sinal do gerador na entrada do estágio (geralmente base do transistor) e a entrada vertical do osciloscópio na saída (geralmente coletor do transistor), a fim de que se possa identificar o estágio defeituoso e corrigir sua falha.

3ª) As imagens do tipo **d, f e g** quase sempre indicam que a constante de tempo da rede de acoplamento é muito baixa, seja pela alteração do capacitor de acoplamento (se existir, é claro), ou alteração do resistor de polarização de base, ou pela alteração de ambos. Também a alteração para menos da capacitância do capacitor de emissor (capacitor de contorno) produz tal efeito.

4ª) A imagem **i** pode ser provocada por realimentação positiva através da fiação mal distribuída e também por instabilidade devida à realimentação negativa incorreta.

b) Verificação das respostas de amplificadores de alta freqüência e faixa larga

A onda quadrada é também bastante útil na verificação da resposta de freqüência de amplificadores de alta freqüência e faixa larga, como é, por exemplo, o amplificador de vídeo do receptor de TV que o aluno estudará na lição correspondente.

A prática em tal prova é exatamente a mesma descrita para o amplificador de áudio, sendo válidas também todas as conclusões que tiramos pela observação da forma de onda. Por se tratar de circuito de alta freqüência - já que o amplificador de vídeo deve ter ganho linear desde 0 Hz até 6 MHz, aproximadamente -, deve-se cuidar para que as ligações entre o gerador, amplificador e osciloscópio sejam as mais curtas possíveis, para que os cabos de ligação (cabo coaxial) não introduzam perdas nas altas freqüências e falseiem a conclusão. Para esta prova, o gerador de áudio deve ser capaz de gerar freqüências até a ordem dos 500 KHz e o osciloscópio deve ter amplificação vertical com resposta plana até cerca de 5 MHz.
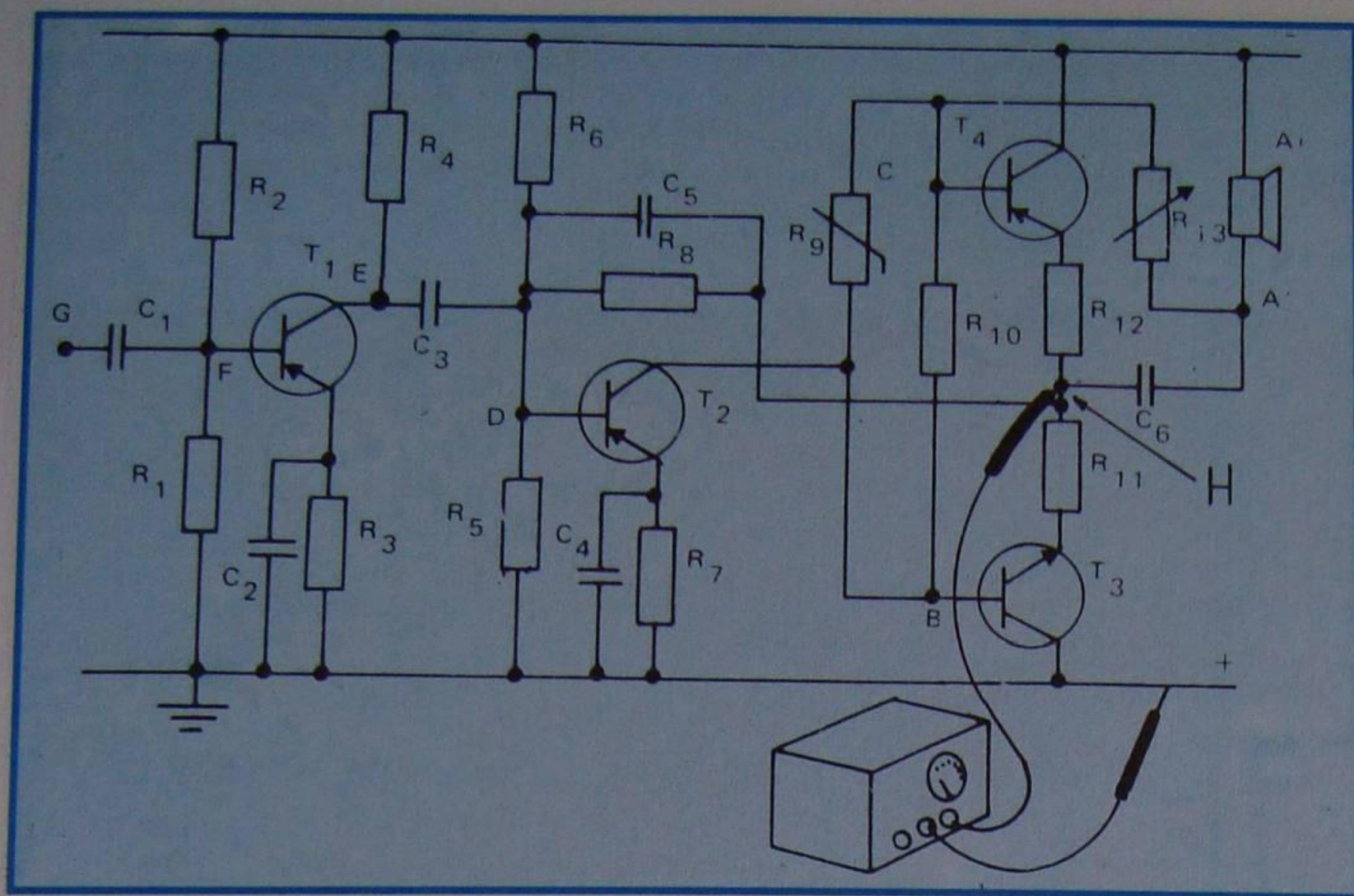
Figura 8 - Amplificador de áudio de um receptor hipotético.

c) Uso do gerador de áudio como injetor de sinais

O gerador de áudio pode ser usado pelo técnico reparador como um eficiente injetor de sinais. O método de reparação por injeção de sinais, como o aluno certamente se recorda, consiste na aplicação de um sinal audível na entrada de um estágio amplificador e na observação, através do ouvido ou de algum outro indicador, do nível desse sinal na saída do estágio. Apenas para reafirmação, veremos novamente, de maneira sucinta, o referido método. A prática é iniciada da saída para a entrada, ou seja, no sentido inverso do percurso lógico do sinal.

Suponhamos que se queira encontrar o defeito de um amplificador de som, cujo esquema básico é aquele que mostramos na **figura 8**. O amplificador encontra-se completamente mudo. Inicialmente, faz-se uma inspeção visual para a verificação de possíveis falhas nas ligações. Estando tudo em ordem, encosta-se o cabo de massa do gerador na massa do receptor (estamos admitindo que o amplificador da figura 8 seja o estágio de som de um receptor) e inicia-se a injeção do sinal.

Sintoniza-se o gerador de onda senoidal ou quadrada em uma freqüência de tom agradável ao ouvido, como por exemplo 500 ou 1 000 Hz, e gira-se seu atenuador para a posição de mínimo sinal.

Agora, com a saída de baixa impedância (se o gerador a possuir), encosta-se o cabo "vivo" no ponto **H**. Aumenta-se a saída do gerador, de modo que seu sinal seja ouvido no alto-falante. Se isso não acontecer, concluir-se-á que o alto-falante ou o capacitor C6 estão "abertos". Para saber qual dos dois está defeituoso, basta mudar a ponta de prova do gerador para o ponto **A**. Se o sinal for reproduzido, C6 será o componente defeituoso.

Suponhamos que ambos estejam bons; então, passa-se a ponta "viva" para os pontos **B** ou **C**. Para esta prática, deve-se aumentar a atenuação do gerador, ou seja, diminuir seu nível de saída. Se, introduzindo-se o sinal em **B**, ele não for reproduzido pelo alto-falante, T_3 ou os componentes a ele associados estarão defeituosos. Neste caso, faz-se a prova a "quente", ou seja, medem-se as tensões entre base, emissor, coletor-emissor e base-coletor de T_3, ou então a prova a "frio", isto é, desliga-se o receptor e efetuam-se as medidas das resistências entre as junções do transistor e também a medida da resistência de R_{11}. Qualquer das duas provas será suficiente para determinar o componente defeituoso.

Caso o sinal aplicado em **B** seja reproduzido e amplificado por T_3, muda-se a saída do gerador para o ponto **C**, onde são válidas todas as provas descritas para o ponto **B**.

É conveniente que, ao fazer-se o teste nos pontos **B** e/ou **C**, se volte ao ponto **A** sem modificar a posição do atenuador do gerador. Evidentemente, o sinal reproduzido com a ponta injetora no ponto **A** deverá ser bem menos intenso do que se for injetado em **B** ou **C**. Se isto não acontecer, haverá curto-circuito entre base e emissor do transistor.

Comprovando-se que T_3, T_4 e seus componentes associados estejam perfeitos, passa-se ao estágio anterior, injetando o sinal no ponto **D**. Entretanto, antes de encostar a ponta "viva" em **D**, deve-se ter o cuidado de aumentar a atenuação, isto é, diminuir o nível do sinal. No caso, é conveniente mudar o cabo do gerador (ou a chave seletora, se houver) para a posição de alta impedância, uma vez que a baixa impedância do gerador "carrega" a entrada de T_2 e pode falsear as conclusões. Se o gerador não tiver saída para alta impedância, então será necessário ligar um resistor de 10 K ou 20 K em série com a ponta viva.

Tomadas essas precauções, o sinal injetado em **D** deverá ser reproduzido com maior intensidade do que se for injetado em **B** ou **C**. Se isso não suceder, o estágio defeituoso será de T2, o qual deverá ser testado através das provas a "frio" ou a "quente" conhecidas do aluno.

Se o estágio de T_2 estiver perfeito, passa-se ao anterior, ou seja, o de entrada em nosso esquema. De início, sem modificar a posição do atenuador do gerador, injeta-se o sinal em **E**. Se o capacitor C3 estiver perfeito, não se notará diferença de som em relação à prova anterior. Caso houver, C3 deverá ser substituído.

Após isto, atenua-se ainda mais o sinal do gerador, sendo ele aplicado ao ponto **F**. Todas as provas e conclusões que podemos tirar daí são análogas às descritas para os outros estágios. Devemos observar que a prova deste estágio com a injeção de sinal é redundante, uma vez que, por exclusão, podemos concluir que o defeito está aí. Citamo-la porque o método não pára nesse estágio, no caso do receptor, mas deve ser prosseguido até a entrada do sinal que é o terminal de antena, sempre do mesmo modo e com idênticas conclusões. Quando a injeção de sinal é feita antes do controle de volume, este deve estar completamente aberto.

Ao fazer-se a pesquisa de defeitos por injeção de sinal nos estágios de RF, é conveniente utilizar a saída de onda quadrada do gerador, dado o grande número de harmônicos desse tipo de onda.

d) Emprego do gerador de áudio como modulador do gerador de RF

O aluno verá, em lição especial futura que o gerador de RF utilizado
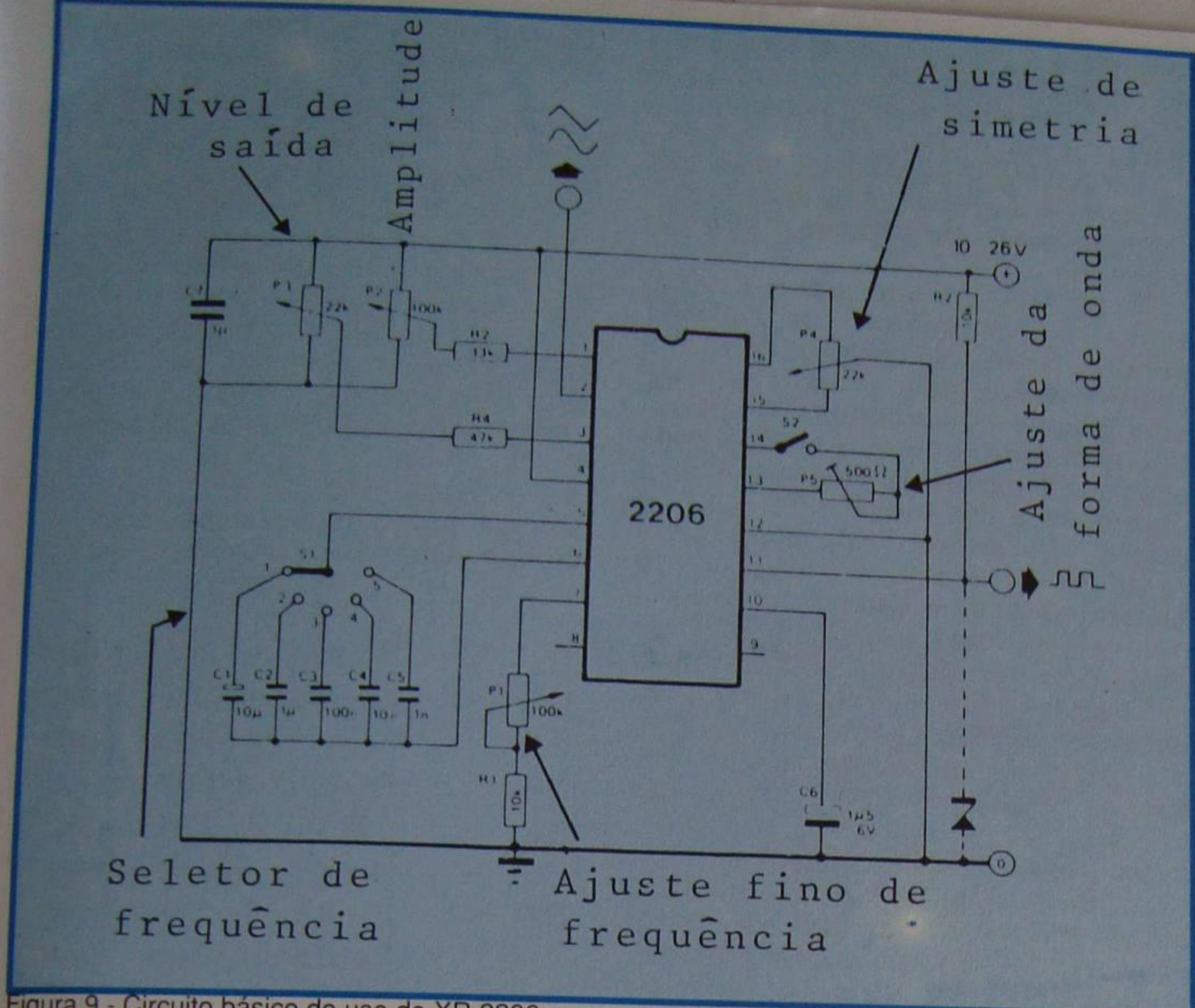
Figura 9 - Circuito básico do uso do XR 2206.

na calibração de receptores de rádio possui um estágio modulador que sobrepõe um som audível à onda de RF. É norma geral que o tom audível seja de 400 Hz (ou 1 KHz) e que o índice de modulação, ou seja, a relação entre a amplitude do sinal de RF e aquela do sinal de áudio seja de 30%. Somente os geradores de RF de maior custo apresentam a possibilidade de variar o índice de modulação. Acontece, todavia, que algumas vezes o técnico comum tem necessidade de aplicação do sinal de RF com profundidade de modulação e freqüência variáveis, o que se dá quando se ensaiam circuitos detetores, por exemplo. Neste caso, não se contando com o gerador de RF de características adequadas, pode-se utilizar o gerador de áudio como modulador do gerador de RF. Para isso, basta introduzir a saída do gerador de áudio na entrada de modulação externa do gerador de RF, entrada esta que a grande maioria dos geradores de RF, mesmo os mais simples, possuem.

VI - Uso de circuitos integrados em geradores de áudio

São inúmeras as possibilidades de empregar-se circuitos integrados em circuitos de geradores de áudio.

Utilizar um CI específico em um circuito significa reduzir bastante o número de componentes. Afinal, uma única pastilha pode conter uma grande quantidade de semicondutores, muitas vezes na configuração exata que necessitamos. É o caso do XR 2206, muito empregado em circuitos de gerador.

Na **figura 9** mostramos um circuito básico de uso do XR 2206.
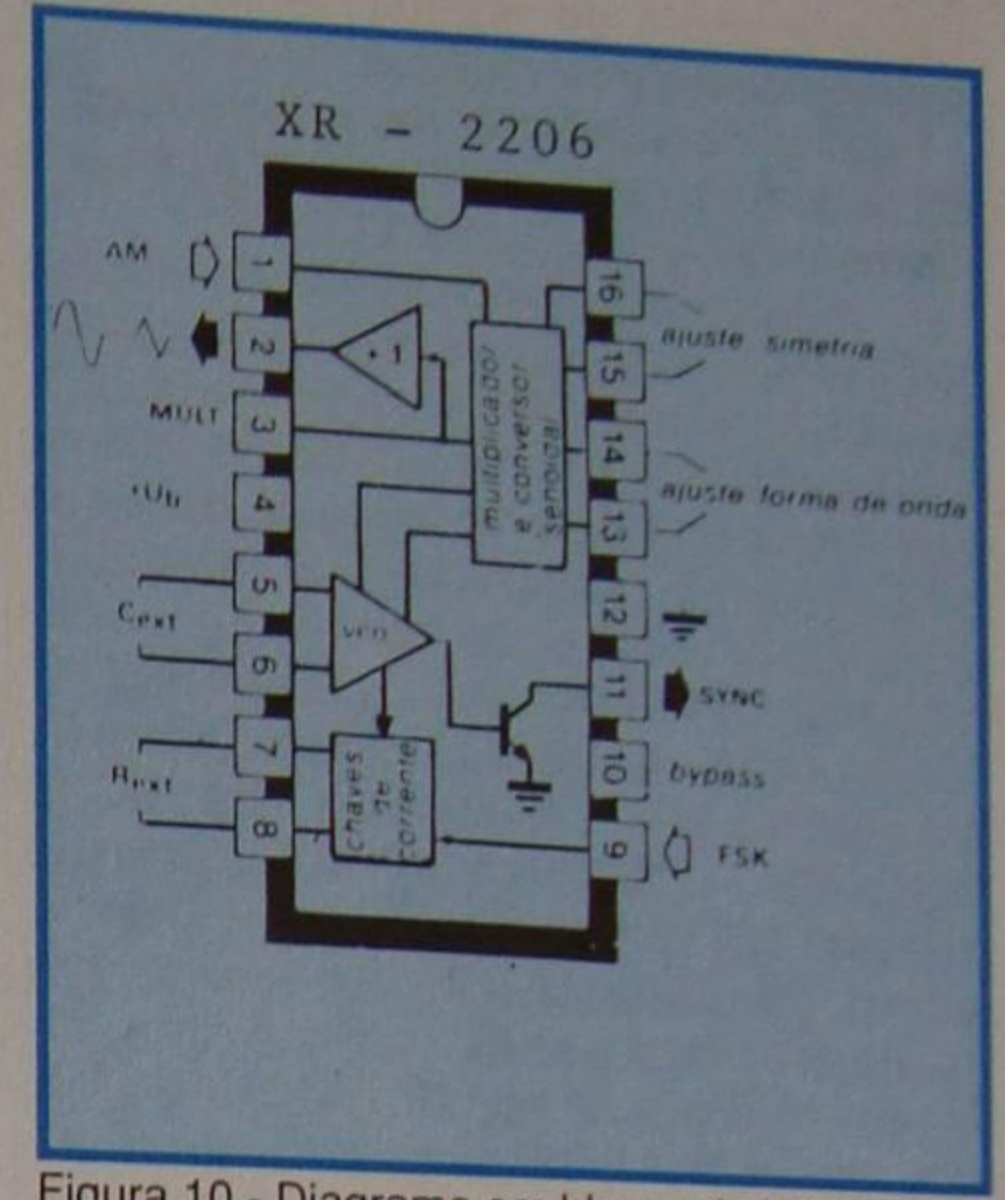
Figura 10 - Diagrama em blocos do XR 2206.
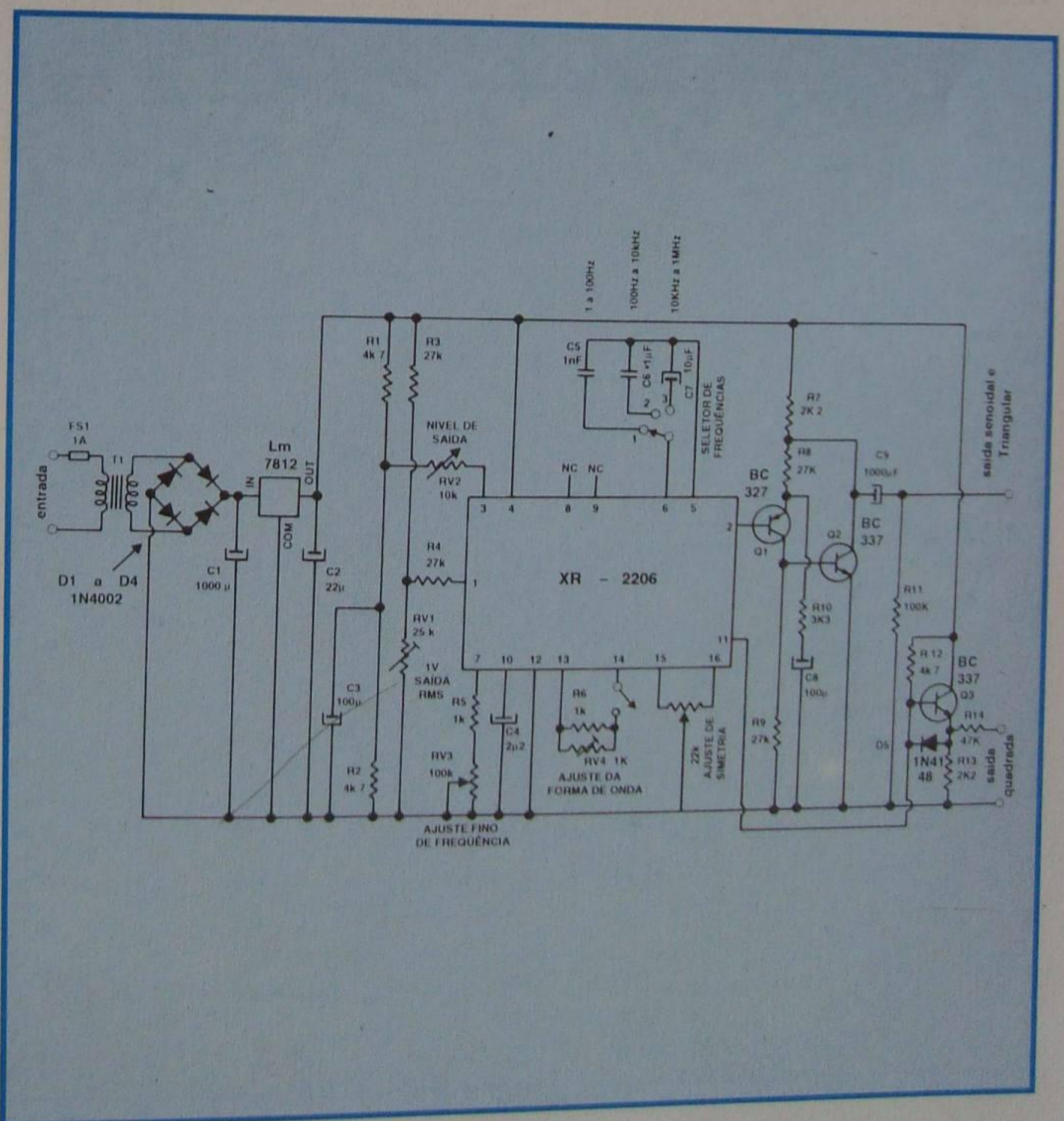
Figura 11 - Configuração melhorada para o XR 2206.

Para que se possa compreender parcialmente o sistema de operações deste integrado, apresentamos, na **figura 10**, um diagrama em blocos do circuito interno ao mesmo.

Este versátil gerador de sinal produz ondas senoidais, triangulares e quadradas, numa gama de 1 Hz a 1 MHz, sendo um auxiliar precioso na oficina, para o ensaio e ajuste de uma variada gama de equipamentos, tanto analógicos como digitais.

Uma variante da configuração básica mostrada na figura 9 é aquela apresentada na **figura 11**.

Além do componente de código XR2206, destacamos a existência do circuito integrado de código 8038, fabricado pela Intersil, componente que possibilita gerar formas de onda retangulares, triangulares e senoidais, cujo valor de freqüência pode variar desde 0,001 Hertz até 1 megahertz.

Uma possível configuração básica para utilização do 8038 consiste no circuito apresentado na **figura 12,** o qual apresenta quatro faixas de operação. A primeira destas faixas compreende uma gama de freqüências que variam desde 10 Hz até os 400 Hz. A segunda abrange valores entre 100 Hz e 4 KHz. A terceira envolve a faixa entre 1KHz e 40 KHz. Já a quarta ocupa a faixa compreendida entre os 10 KHz e aproximadamente 200 KHz.

Uma vez selecionada a faixa desejada, o valor exato da freqüência é ajustável de maneira contínua, ajuste este efetuado pelo potenciômetro P1.

Quanto à escolha da faixa que se pretende utilizar, esta é feita por intermédio da chave S1, de 1 pólo por 4 posições.

Em circuitos geradores deste tipo, a produção de sinais retangulares e triangulares é relativamente fácil, proporcionando sem grandes dificuldades sinais de boa qualidade. Porém a produção de senóides é algo mais delicado, motivo da presença dos trimpots T1 e T2 os quais permitem efetuar uma regulagem sobre o nível de distorções destes sinais, de modo a reduzir este nível a um valor mínimo. Uma boa regulagem nestes dois trimpots permite a redução do nível de distorção das senóides a valores que podem variar de 1% a 2% apenas, o que pode ser considerado um bom valor de distorção para geradores de funções comerciais.

Pelo circuito apresentado o aluno pode verificar que os sinais produzidos são retirados em três pontos distintos, ou seja, em três plugues diferentes.

O sinal retangular é obtido, na saída 1, plugue J1, o qual possibilita o acesso, via C6, ao terminal de número 9 do circuito integrado.

O plugue J2 é a saída de sinal triangular, sinal este oriundo do terminal de número 3 do 8038.

A última forma de onda é extraída do terminal de número 2 do circuito integrado e enviado diretamente ao plugue J3, denominado "saída senoidal".

Sobre o funcionamento do circuito, já expusemos tudo o que deveria ser citado.

Na hipótese de o aluno desejar efetuar a montagem do circuito proposto, apresentamos, a seguir, a relação dos componentes utilizados:

Código dos componentes	Especificação dos componentes
R1	Resistor de 2K2 x 1/8W
R2	Resistor de 2K2 x 1/8W
R3	Resistor de 10MΩ x 1/8W
R4	Resistor de 4M7 x 1/8W
R5	Resistor de 22K x 1/8W
R6	Resistor de 10K x 1/8W
R7	Resistor de 10K x 1/8W
R8	Resistor de 2K2 x 1/8W
P1	Potenciômetro Lin. de 10K
T1	Trimpot de 100 K
T2	Trimpot de 100 K
C1	Capacitor de disco cerâmico de 100 nF
C2	Capacitor de disco cerâmico de 220 nF
C3	Capacitor de disco cerâmico de 22 nF
C4	Capacitor de disco cerâmico de 2,2 nF
C5	Capacitor de disco cerâmico de 220 pF
C6	Capacitor eletrolítico de 47 μF x 16 V
IC - 01	Circuito integrado ICL 8038
S1	Chave 1 pólo x 4 posições

Como dito anteriormente, o aluno deve se lembrar que o único ajuste a se efetuar, refere-se aos trimpots T1 e T2. A maneira correta de proceder esse ajuste é fazendo-se uso de um osciloscópio, quando então deve-se, com a freqüência de 1 KHz, atuar em ambos os trimpots até obter a forma mais exata possível para a senóide.
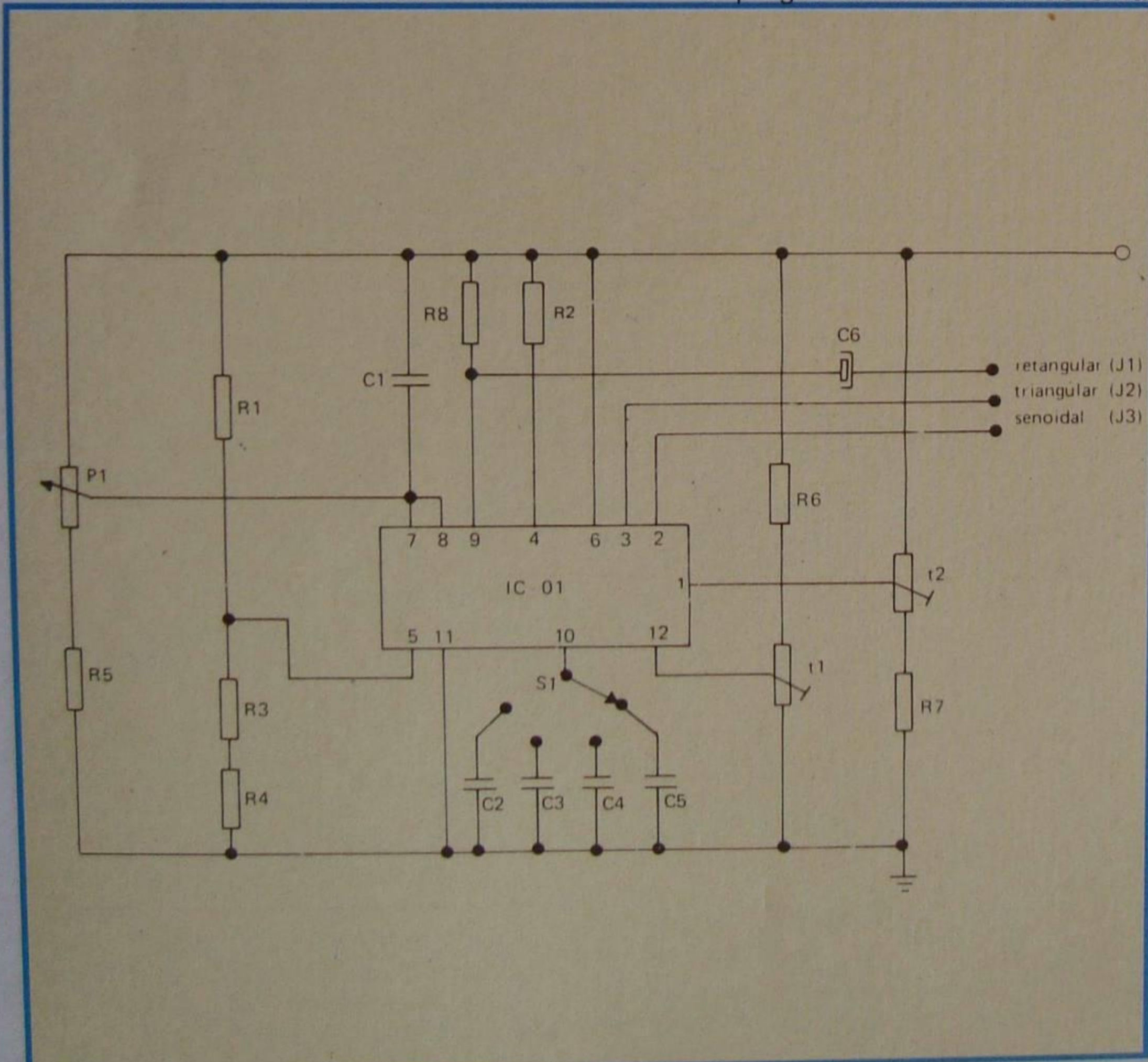
Figura 12 - Configuração básica para uso do 8038.